

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Механіко-машинобудівний інститут
(повна назва інституту/факультету)

кафедра технології машинобудування
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 621

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Петраков Ю.В.
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2018 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації)

(код і назва спеціальності)

на тему: Розрахунок експлуатаційних характеристик спіральних свердел діаметрами 1-4 мм з урахуванням геометричних параметрів

Виконав (-ла): студент (-ка)

(шифр групи)

Мухін Владислав Олексійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник

Данилова Людмила Миколаївна
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант

_____ (назва розділу)

_____ (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент

_____ (посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

Реферат

Загальний обсяг роботи становить 95 сторінки друкованого тексту, 37 малюнків, 44 таблиць.

Мета роботи.

Ефективність практичного використання технологічних процесів оброблення деталей машин, в умовах виробництва, забезпечується дослідженнями реальних показників якості процесу оброблення та впровадження нових технологічних рішень, прийомів оброблення, які в підсумку підвищують продуктивність оброблення, тому технологічні дослідження процесів оброблення різанням, які забезпечують підвищення продуктивності технологічного підготовки виробництва та продуктивності процесу безпосереднього оброблення є актуальними і мають практичну значимість.

Для досягнення мети створена програма для розрахунку експлуатаційних характеристик спіральних свердел з урахуванням геометричних параметрів від конструктивних особливостей інструменту і конкретних умов обробки.

Магістерська дисертація є науково-дослідною роботою, яка забезпечує розрахунок експлуатаційних характеристик спіральних свердел з урахуванням геометричних параметрів.

У дисертаційній роботі наведені результати досліджень операції обробки свердлінням деталей з авіабудування. За результатами досліджень розглянути різні методики розрахунку режимів різання і сил різання під час свердління та обрана найкраща формула для їх розрахунку.

Наукова новизна дослідження полягає:

- розрахунок раціональних режимів обробки при заданих параметрах свердла для обґрунтованого нормування свердлильних робіт;
- розроблений програмний продукт, який може бути успішно використаний.

У дисертаційній роботі використано математичний апарат розрахунку режимів різання та сил різання під час свердління.

З використання цих залежностей і відомого алгоритму розрахунку розроблений програмний продукт, який може бути успішно використаний для розрахунку експлуатаційних характеристик свердла.

Розроблений програмний продукт використаний при виконанні операції свердління.

Практична цінність роботи визначається універсальністю розробленого продукту, що забезпечує розрахунок режимів обробки силових параметрів допустимого зносу свердла, в залежності від конструктивних особливостей інструменту і конкретних умов обробки.

**Тема: Аналіз сучасних видів оброблення малих отворів 1-4 мм та засобів
їх практичної реалізації.**

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів.....	8
ВСТУП.....	9
Розділ 1.....	11
1.1. Особливість сучасних ТО оброблення отворів.....	11
1.2. Актуальність теми.....	26
Розділ 2.....	28
2.1. Особливості визначення сил різання при свердленні.....	28
2.2 Вплив параметрів процесу різання на осьову силу і крутний момент.....	34
Розділ 3.....	38
3.1 Свердління швидкорізальними спіральними свердлами.....	38
3.2 Свердління твердосплавними свердлами.....	47
3.3 Знос та стійкість спірального свердла.....	51
Розділ 4.....	57
4.1 Стійкість свердла і швидкість різання при свердлінні.....	57
4.2 Вплив матеріалу і геометрії свердла на його стійкість.....	60
4.3 Вплив ЗОР на стійкість свердел.....	61
4.4 Розрахунок експлуатаційних характеристик спіральних свердел.....	68
Розділ 5.....	78
Стартап.....	78
5.1. Опис ідеї проекту.....	78
5.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	79
5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	79
5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту.....	84
5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	86
5.6. Висновки по розділу.....	88
Висновки.....	89

Список публікацій.....	91
Література.....	92

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів

ТОС - технологічно обробляюча система.

ЧПК - числове програмне керування.

ТО - технологічна операція.

ТПО - типова послідовність оброблення.

МОТС - мастильно-охолоджувальне технологічне середовище.

СШС – свердла з швидкорізальних сталей.

ЗОР - змащувально-охолоджувальна рідина.

ЗБП - змінна багатогранна пластина.

Вступ

Відновлення машинобудівного виробництва України на базі сучасних багатоцільових верстатів з ЧПК потребує вдосконалення системи технологічного підготовки виробництва та забезпечення надійності проектування технологічних операцій оброблення різанням. Серед операцій оброблення різанням деталей машин найбільшу трудомісткість мають операції свердління. Так за даними [1] опитування 145 німецьких фірм, що використовують в своєму виробництві технологічні процеси оброблення різанням, трудомісткість оброблення отворів складає 36%, (зокрема 29% припадає на оброблення отворів з відношенням $L/D < 12$) в той час як оброблення фрезеруванням складає 32%, токарне – 25%, а всі інші види оброблення займають лише 15% основного часу. Створення нових технологічних рекомендацій для проектування операцій оброблення отворів, що забезпечать підвищення продуктивності технологічного підготовки виробництва та визначення ефективних умов реалізації процесу різання є актуальним завданням, та має суттєве практичне значення і є основою для автоматизації процесів проектування технологічних операцій (ТО) оброблення отворів, що в підсумку повинно забезпечити зменшення собівартості виготовлення деталей машин. За останні десятиліття в світовому машинобудуванні відбулись суттєві зміни в інструментальному забезпеченні і значно розширились технологічні можливості верстатів, що в сукупності призвело до формування нових прийомів оброблення отворів, що поки практично не знайшли відображення в традиційних технологічних довідниках [2, 3, 4].



Рисунок 1.1



Рисунок 1.2

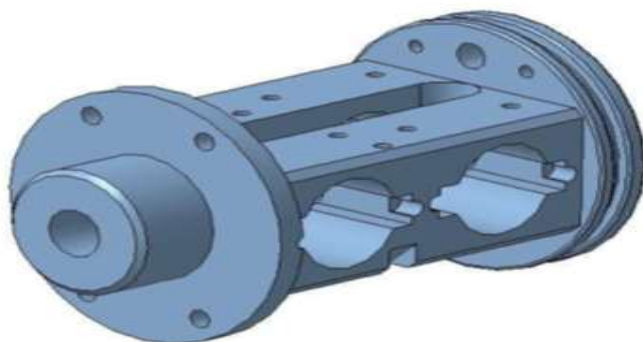


Рисунок 1.3



Рисунок 1.4

Існуючі отвори малого діаметра в різних деталях машинобудування з титанових сплавів: рисунок 1.1 - деталь вузла продукції військового призначення (BT23); рисунок 1.2 - деталь авіоніки (BT6); рисунок 1.3 - корпус віскозиметра для роботи з агресивними середовищами (BT1-0); рисунок 1.4 - деталь трубопроводу високого тиску (BT6).

У представлених деталях надзвичайно важливим є як висока якість глибоких отворів, так і розмірна і геометрична точність, також необхідно дроблення і видалення стружки без пакетування.

Розділ 1

1.1 Особливість сучасних ТО оброблення отворів

Особливістю сучасних ТО оброблення отворів є можливість і бажаність їх реалізації на різноманітних верстатах з ЧПК. Тому при проектуванні даних ТО необхідно приймати до уваги особливості технологічної обробляючої системи (ТОС), для якої проектується операція та сформувати для неї систему технологічних обмежень.

Для формування системи обмежень необхідно послідовно вирішити наступні типові технологічні завдання:

- аналіз фізико-механічних характеристик оброблюваного матеріалу;
- аналіз заданих характеристики якості, що необхідно забезпечити;
- проектування типової послідовності оброблення отвору, що може апіорно забезпечити досягнення заданих характеристик;
- визначення інструментального матеріалу різальної частини свердла;
- визначення конструкції різального інструменту;
- визначення геометричних параметрів загострювання різальної частини свердла;
- визначення елементів режиму різання (h , S , V) для заданої ТОС з урахуванням технологічних характеристик верстату, а саме: потужності двигуна головного приводу (N_m) та гранично допустимої сили механізму подач ($P_{под}$);
- виконання експрес-розрахунку вартості оброблення.

При практичному вирішенні цієї системи завдань технологічні обмеження можна розділити на *незмінні*, *умовно змінні* та *керовані*. До незмінних обмежень відносяться конструктивні параметри отвору (довжина L та діаметр \varnothing), характеристики конструкційного матеріалу деталі (зокрема границя міцності σ_B , твердість HB, питома сила різанням $p_{cl.1}$), характеристики якості оброблюваного отвору (точність IT та шорсткість Ra), а також технічні характеристики верстату: діапазони зміни частоти обертання шпинделю ($n_{min} - n_{max}$) та зміни подач ($S_{min} - S_{max}$), потужність двигуна головного приводу (N_m) та гранична допустима сила механізму подач ($P_{под}$).

Система незмінних вихідних факторів обумовлює формування системи умовно змінних факторів, тобто таких, що не можуть бути змінені безпосередньо в процесі роботи. До них належать: типова послідовність оброблення заданого отвору (ТПО); обраний інструментальний матеріал та конструкція різального інструменту; форма загострювання різальної частини та її геометричні параметри. До безпосередньо керованих факторів належать лише складові режиму різання – поздовжня подача (S) та швидкість різання (V), а також наявність або відсутність в зоні оброблення мастильно-охолоджувальних технологічних середовищ. Якість та надійність проектування технологічних операцій визначається обґрунтованістю визначення всіх змінних факторів процесу оброблення. Проектування ТО оброблення отворів на першому етапі потребує формування можливих ТПО. З урахуванням технологічних можливостей верстатів з ЧПК та конструкцій різальних інструментів доцільно проаналізувати всі можливі послідовності оброблення з точки зору універсальності їх реалізації, досяжних характеристик якості, що забезпечуються кожним видом оброблення та наявними технологічними можливостями верстату. При проектуванні операцій оброблення отворів в суцільному матеріалі першим технологічним переходом, як правило, є свердління. Вибір інструментального матеріалу, конструкції свердла та його розмірів залежатиме від конструкції оброблюваного отвору, зокрема діаметру \varnothing та довжини L .

Розглянемо обробку отворів діаметром $\varnothing \leq 12\text{мм}$;

Оброблення отворів даного діапазону переважно здійснюється в суцільному матеріалі за послідовністю, що наведена в табл. 1.1

Недоліком такої ТПО є застосування великої кількості спеціалізованих інструментів, що за умов багатомініклатурного виробництва призводить до збільшення витрат на виготовлення деталей машин.

Таблиця 1.1 – Типова послідовність оброблення отворів діаметром
 $\varnothing \leq 12 \text{ мм}$;

Вид осьового оброблення	Глибина різання, мм	Точність оброблення	Шорсткість R_a , мкм
Свердління	$D/2$	H12...H11	20...10
Зенкерування попереднє	1,5...2,5	H11...H10	10...6,3
Зенкерування завершальне	0,5...1,5	H10...H9	6,3...5,0
Розвертання попереднє	0,05...0,2	H9...H8	5,0...2,5
Розвертання завершальне	0,025...0,05	H8...H7	2,5...1,25

Альтернативним варіантом є використання високовартісного інструменту з твердого сплаву зі спеціальною геометрією (наприклад свердла серії MHS виробництва MITSUBISHI CARBIDE з покриттям MIRACLE дозволяють отримувати отвори квалітетом H7 в діапазоні $\varnothing 3 - \varnothing 12$ мм без додаткового оброблення).

За прийнятою ТПО необхідно визначити розміри інструментів, що можуть реалізувати таке оброблення. Традиційні алгоритми розрахунку припусків та міжопераційних розмірів наведено у [6].

Конструкція гвинтових спіральних свердел обумовлює значну осьову силу різання (P_o), яка впливає на осьову стійкість свердла та визначає необхідні характеристики механізму подач верстату ($[P_{nod}]$), а поперечний переріз свердла знаходиться під дією значного крутного моменту ($M_{кр}$). Тож основною характеристикою інструментального матеріалу є його міцність, що обумовлює широке застосування для виготовлення свердел швидкорізальних сталей. Так, границя міцності швидкорізальної сталі P12Ф4К5 знаходиться в діапазоні $\sigma_B=(1400-2200)$ МПа, а для сталі 11РЗМЗФ2Б $\sigma_B=(3400-3800)$ МПа. Для

порівняння границя міцності найбільш міцних металокерамічних твердих сплавів, наприклад ВК8 складає $\sigma_B=1666$ МПа а сплаву ВК10 – $\sigma_B=1764$ МПа (ГОСТ 3882-74 (ISO 513-75) Сплави тверді спечені. Марки).

Нові технологічні можливості відкривають СШС, що виготовляються за технологією порошкової металургії (HSS-PM). Основною перевагою порошкових технологій отримання ШС є значне зниження розмірів карбідів і, як наслідок, краща однорідність. Це пов'язане з тим, що одна частинка порошку має розмір декілька мікрометрів, і розмір карбіду відповідно не може перевищувати розмір однієї частинки. В Україні виробляється ряд марок таких сталей: Р7М2Ф6-МП, Р6М5Ф3-МП, Р9М2Ф6К5-МП, Р12МФ5-МП та інші (ТОВ «Запоріжспецсталь»). Вони характеризуються значним підвищенням характеристик міцності. Так наприклад, швидкорізальна сталь Р6М5Ф3-МП має границю міцності в діапазоні $\sigma_B=(3500-4400)$ МПа (ДСТУ 2233-93 Інструменти різальні. Терміни та визначення). Найбільш ефективно використовувати такі сталі для оброблення важкооброблюваних матеріалів та сплавів, а також при обробленні матеріалів підвищеної твердості ($HRC_3 \geq 32$) [7, 8].

Технологія порошкової металургії так само використовується для отримання карбідосталі — порошкового (спеченого) матеріалу на основі сталльної матриці, наповненої карбідами, наприклад, карбідом титану [9]. За своїми властивостями карбідосталь є перехідною ланкою між ШС та твердим сплавом. [8].

Тверді сплави для оснащення різального інструменту отримують методами порошкової металургії що нагадує процес отримання порошкової сталі. Основними компонентами таких сплавів є карбіди вольфраму (WC), титану (TiC), танталу (TaC) і ніобію (NbC); нітриди і карбонітриди титану (TiN, TiCN), тверді часточки яких з'єднуються до купи м'якими, менш тугоплавкими зв'язками, що містять Co, Ni, Mo. Порівняльна характеристика фізико-механічних властивостей ШС та твердих сплавів наведена у табл.1. 2 [8].

Таблиця 1.2 – Деякі властивості різних інструментальних матеріалів

Властивості	Групи інструментальних матеріалів			
	ШІС (HSS)	Твердий сплав		
		P02-P40	M10-M40	K03-K40
Густина [г/см ³]	8.0-9.0		6.0-15.0	
Твердість за Віккерсом HV30	700-900	1350-1650	1350-1700	1300-1800
Міцність на вигин [МПа]	2500-4000	800-1900	1350-2100	1200-2200
Міцність на стиск [МПа]	2800-3800	4600-5100	4400-6000	4500-6200
Модуль пружності [ГПа]	260-300	440-560	540-580	580-630
Теплове розширення [10 ⁻⁶ К ⁻¹]	9-12	5.5-7.5	5.5	5.0-5.5

Тверді сплави є сучасним інструментальним матеріалом, що забезпечує високопродуктивне оброблення металів різанням. Зараз загальна кількість твердосплавного інструменту, що застосовується в механообробці досягає 30%, при цьому цими інструментами знімається до 65% стружки [8]. Висока термостійкість і зносостійкість таких матеріалів дозволяє збільшити швидкість різання в 8-10 разів в порівнянні зі свердлами з швидкорізальної сталі, а високий модуль Юнга забезпечує приблизно в три рази більшу жорсткість конструкції свердла. Тому стійкість суцільних твердосплавних свердел приблизно в 10 разів вища ніж свердел з ШІС, що забезпечує їх ефективне використання на верстатах з ЧПК.

За своїм складом тверді сплави можна розділити на чотири групи:

- *вольфрамокобальтові* – WC-Co, група ВК, однокарбідні тверді сплави)

- *титановольфрамокобальтові* – WC-TiC-Co, група ТК, двокарбідні тверді сплави)

- *титанотанталовольфрамокобальтові* – WC-TiC-TaC-Co, група ТТК, трикарбідні тверді сплави

- *безвольфрамові* тверді сплави – на основі TiC і TiCN

Тверді сплави є сучасним інструментальним матеріалом, що забезпечує високопродуктивне оброблення металів різанням. Зараз загальна кількість твердосплавного інструменту, що застосовується в механообробці досягає 30%, при цьому цими інструментами знімається до 65% стружки [8]. Висока термостійкість і зносостійкість таких матеріалів дозволяє збільшити швидкість різання в 8-10 разів в порівнянні зі свердлами з швидкорізальної сталі, а високий модуль Юнга забезпечує приблизно в три рази більшу жорсткість конструкції свердла. Тому стійкість суцільних твердосплавних свердел приблизно в 10 разів вища ніж свердел з ШС, що забезпечує їх ефективне використання на верстатах з ЧПК.

За своїм складом тверді сплави можна розділити на чотири групи:

- *вольфрамокобальтові* – WC-Co, група ВК, однокарбідні тверді сплави)
- *титановольфрамокобальтові* – WC-TiC-Co, група ТК, двокарбідні тверді сплави)

- *титанотанталовольфрамокобальтові* – WC-TiC-TaC-Co, група ТТК, трикарбідні тверді сплави

- *безвольфрамові* тверді сплави – на основі TiC і TiCN

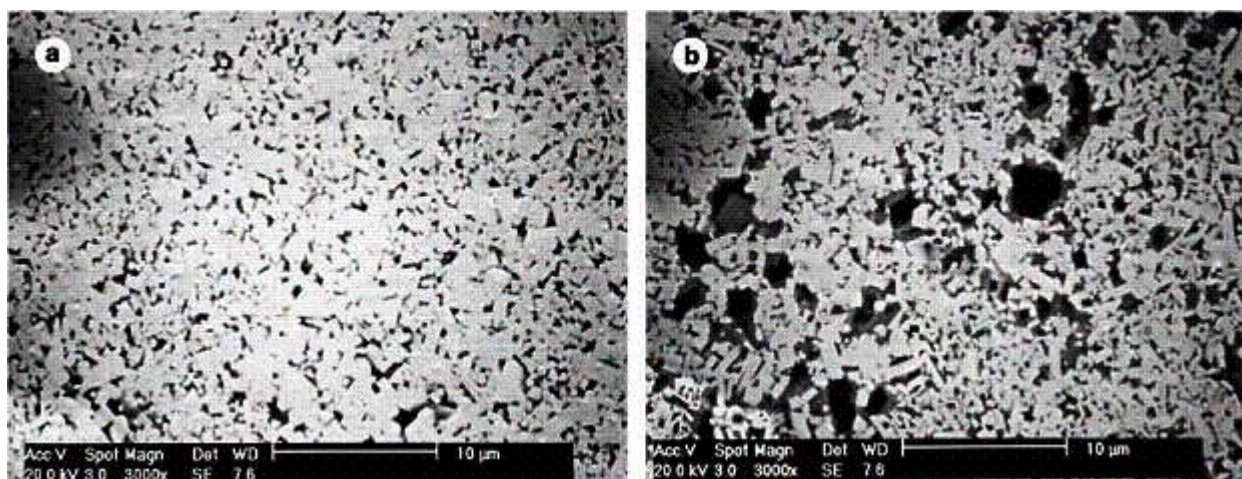


Рисунок 1.1 – Мікроструктура твердих сплавів групи ВК (а), ТК (b) [10]

Відомі одно карбідні тверді сплави з ультрамалими розмірами зерен карбіду вольфраму (0,2-0,8) мкм, що володіють новими, раніше недосяжними властивостями. Так фірма Sandvik Hard Materials (Швеція) пропонує матеріал Н10F, що має твердість 92,1 HRA та границю міцності $\sigma_B = 4300$ МПа (для порівняння ВК6-ОМ при твердості 90,5 HRA має границю міцності $\sigma_B = 1274$ МПа). Основні технологічні рекомендації використання таких матеріалів орієнтовані на виготовлення свердел та кінцевих фрез. Загострювання різальної частини інструментів з таких матеріалів забезпечує формування дуже малих радіусів заокруглення різальних кромки ($\rho \leq 3$ мкм). Інструменти з даної групи матеріалів призначені для оброблення високоміцних, жароміцних сталей та сплавів, конструкційних сталей та чавунів підвищеної твердості, а також високо абразивних матеріалів (силумінів, склопластиків, вуглепластиків та боропластиків). Аналогічні інструментальні матеріали пропонують фірми Krupp Widia (Німеччина) та Kennametal (США). Перспективним напрямком є виготовлення інструментальних матеріалів із розмірами зерен карбіду вольфраму менше 0,1 мкм (нанопорошки) [11].

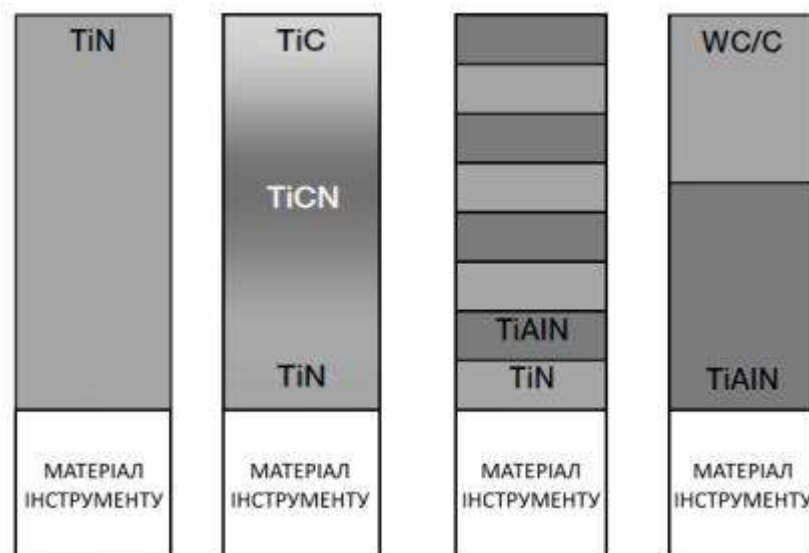


Рисунок 1.2 – Варіанти нанесення захисних покриттів на інструмент (за матеріалами <http://hssforum.com/>)

Для підвищення зносостійкості інструментів широко використовуються зносостійкі покриття. Основні з них - карбід титану TiC , нітрид титану TiN , карбонітрид титану $Ti(CN)$, оксид алюмінію Al_2O_3 , алюмонітрид титану $Ti(AlN)$, або їх певна комбінація (рис. 1.3). Наступним етапом проектування ТО є вибір конструкції різального інструменту. Для виготовлення свердел діаметром $\varnothing \leq 12$ мм достатньо широко використовуються швидкорізальні сталі різних марок (здебільшого з захисними покриттями), вибір яких визначається характеристиками оброблюваного матеріалу. Але враховуючи недостатньо високу продуктивність ШС, останнім часом значно розширилось застосування металокерамічних твердих сплавів.

Свердла діаметром $\varnothing \leq 12$ мм що виготовляються з твердих сплавів практично не змінюють традиційну конструкцію гвинтових спіральних свердел. Геометрія відрізняється збільшенням величини зворотної конусності свердла (1,4-1,8 мм на 100 мм довжини), а також збільшеним діаметром серцевини до $(0,2-0,35) \cdot D_{dr}$. Для покращення умов видалення стружки від зони різання збільшується кут нахилу гвинтової канавки до $\omega = 35^\circ$. Додатково використовують підточування передньої поверхні для формування необхідних передніх кутів та

зменшення довжини поперечної різальної кромки, що забезпечує зменшення осьової сили різання. Оскільки зона різання при обробленні отворів є закритою, прогресивні конструкції різальних інструментів часто передбачають канали що виходять на задні поверхні інструменту і слугують для транспортування МОТС в зону різання (рис. 1.3).

Підведення МОТС здійснюється з підвищеним тиском що забезпечує, окрім охолодження, інтенсивне видалення стружки від зони оброблення.

За умов застосування спіральних свердел, незалежно від інструментального матеріалу різальної частини, необхідно приймати до уваги такі їх особливості:

- змінність передніх та задніх кутів різального клину впродовж головних різальних кромок;
- несприятливі умови процесу різання на перетинці свердла;
- загальна неврівноваженість радіальних складових сили різання на різальних кромках свердла;
- велике тепловиділення на периферійних ділянках різальної кромки та підвищена інтенсивність їх зношування.

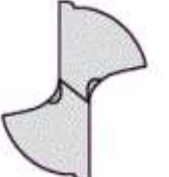
Найбільш важливим технологічним недоліком цієї конструкції є неврівноваженість радіальних складових сили різання, що обумовлена похибками загострювання різальних кромок. Це обумовлює похибку викривлення вісі отвору в поздовжньому напрямку, що зростає при збільшенні довжини отвору. Для подальшого виправлення такої похибки, необхідно передбачати переходи, що одночасно поліпшуються всі характеристики якості поверхні, наприклад, зенкерування, розточування, внутрішнє шліфування. Похибка загострювання різальної частини спіральних гвинтових свердел може призводити до збільшення розмірів отвору в порівнянні з розмірами свердла, нерівномірності силових навантажень на головні різальні кромки, а також їх нерівномірному зношуванню. На верстатах з ЧПК досягнення необхідної точності розташування отворів зазвичай досягається введенням попереднього переходу центрування положення вісі отвору, що збільшує час оброблення. За умов

оброблення отворів невисокої точності (H12-H11) та значними допусками на точність просторового розташування (0,05-0,10) мм доцільним є застосування конструкцій інструменту зі спеціальною формою загострювання. Характерною особливістю таких форм є збільшення випуклості поперечної кромки до $(0,03-0,05) \cdot D_{dr}$ в порівнянні зі звичайними $(0,002-0,02) \cdot D_{dr}$ (D_{dr} - діаметр свердла). Найбільш складні умови процесу різання виникають на поперечній різальній кромці, що характеризуються значними від'ємними передніми кутами та швидкістю різання наближеною до нуля. В сукупності це створює умови пластичного розділення матеріалу і призводить до значного зростання осьової сили різання, що в свою чергу накладає обмеження на довжину інструменту. Для зменшення осьових навантажень застосовується підточування поперечної різальної кромки. Найбільш розповсюдженими є форми підточування поперечної різальної кромки що наведені в табл. 1.3 (за матеріалами <http://www.mitsubishicarbide.com>).

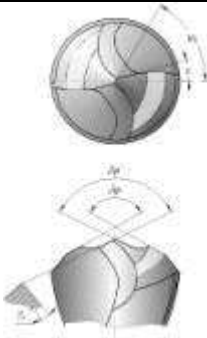
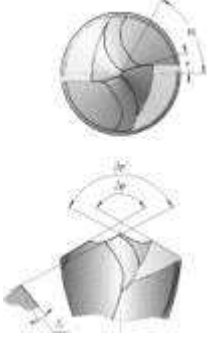
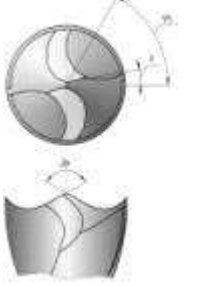
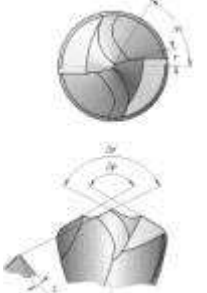


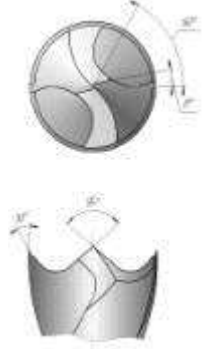
Рисунок 1.3 – Ескіз свердла з внутрішнім підведенням МОТС (ThruBor™)

Таблиця 1.3 – Основні форми підточування поперечної різальної кромки

Форма підточування	Основний вплив на процес свердління
	<p><i>X-подібна.</i></p> <p>Сприяє зменшенню осьової сили різання, покращує врізання. Таку форму підточування доцільно використовувати в разі якщо перетинка свердла достатньо широка.</p>
	<p><i>XR-подібна.</i></p> <p>За врізанням поступається X-подібній формі, проте різальні кромки є більш міцними. Має ширшу область застосування.</p>
	<p><i>S-подібна.</i></p> <p>Спостерігається найбільш значне зменшення осьової сили різання. Дана форма підточування використовується найчастіше.</p>
	<p><i>N-подібна.</i></p> <p>Таке підточування ефективно при відносно великій довжині поперечної різальної кромки. Застосовується переважно при глибокому свердлінні.</p>

Таблиця 1.4 – Деякі форми загострювання багатокромкових спіральних свердел

Оброблюваний матеріал	Форма підточування
а) типова форма	
с) для оброблення латуні	
d) для оброблення листових матеріалів	
е) для оброблення органічного скла	

f) для оброблення гуми	
------------------------	--

Якісно новим етапом в підвищенні продуктивності свердління була розробка спеціальних форм загострювання, які формують багатокромковий різальний клин таблиця 1.4. Такі конструкції знайшли досить широке застосування зокрема при обробленні неметалічних матеріалів, листового металу, кольорових сплавів. Основним недоліком всіх багатокромкових конструкцій свердел є складність їх виготовлення та загострювання. Новим конструктивним рішенням для запобігання викривлення вісі оброблюваного отвору є конструкції гвинтових спіральних свердел, що мають три (рідше чотири) головні різальні кромки (рис.1.4). Така конструкція інструменту забезпечує поліпшення умов центрування свердла, збільшення загального об'єму канавок для відведення стружки, що гарантує поліпшене відведення стружки при свердлінні чавунів, алюмінієвих, титанових, інших легких сплавів та кольорових металів. Свердла мають спеціальну форму передньої поверхні (з підточуванням вершини), яка забезпечує особливо якісні центрувальні властивості інструменту



Рисунок 1.4 – Конструкція свердла з трьома різальними кромками
(MAPAL®)

Зусилля різання розподіляються між трьома різальними кромками, що також покращує центрувальні властивості та зменшує питоме навантаження на різальні кромки, а також створює умови оброблення з більшою величиною подачі. Довжина різальної частини свердла виконується подовженою і дозволяє здійснювати велику кількість переточувань, що забезпечує збільшення загального терміну його експлуатації.

Таблиця 1.5 – Рекомендовані режими різання для свердел з трьома різальними кромками

Оброблюваний матеріал	V, м/хв	Подача в залежності від діаметру свердла					
			0,5	0	4	6	0
Алюмінієві сплави (<12%Si)	160-300	0,18	0,25	0,3	0,5	0,6	0,8
Сірий чавун	80-120	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,75
Високоміцний сірий чавун	60-80	0,16	0,24	0,28	0,38	0,42	0,55
Максимальна довжина отвору, мм		9	9	6	0	3	7



а) свердло з напаяним пластинками



b) свердло зі змінною різальною частиною, байонетне кріплення (GoldTwist Jergens ®)



с) свердла зі змінною різальною частиною, гвинтове кріплення (ZCC-CT®)

Рисунок 1.6 – Конструкції свердел з твердосплавною різальною частиною

Свердла зі твердосплавними вставками створюють нові технологічні можливості такі як свердління у суцільному матеріалі без попереднього центрування, оброблення отворів в нахилених поверхнях. Заміна вставок відбувається без зняття свердла з патрону - вставка затискається в гнізді свердла за допомогою спеціального байонетного кріплення (рис. 1.6 b) або ж гвинтами (рис. 1.6 c). Подача МОТС здійснюється безпосередньо до різальних кромок через два канали. Таке свердло не потребує наладки інструменту після заміни вставки що є додатковою перевагою. Принципово нові технологічні можливості оброблення отворів створюють конструкції свердел, які оснащуються змінними багатограними пластинами (ЗБП) з механічним кріпленням.

1.2 Актуальність теми

Аналіз технологічних процесів сучасного машинобудівного виробництва показує, що практична їх більшість базуються на використанні відомих на сьогодні видах оброблення різанням і за прогнозами експертів, ці тенденції будуть зберігатися на протязі найближчих десятиліть.

Ефективність практичного використання технологічних процесів оброблення деталей машин в умовах виробництва забезпечується дослідженнями реальних показників якості процесу оброблення та впровадження нових технологічних рішень, прийомів оброблення, які в підсумку підвищують продуктивність оброблення, тому технологічні дослідження процесів оброблення різанням, які забезпечують підвищення продуктивності технологічного підготовки виробництва та продуктивності процесу безпосереднього оброблення є актуальними і мають практичну значимість.

Для реалізації кожної технологічної операції оброблення різанням необхідно спроектувати структуру технологічної обробляючої системи (ТОС), яка включає:

- обробляючий металорізальний верстат;
- необхідну систему верстатних пристроїв;
- інструментальне забезпечення;
- найбільш ефективний вид заготовки.

Технологічна обробляюча система повинна забезпечувати стале досягнення зазначених характеристик якості оброблюваних поверхонь.

Слід враховувати, що сучасне машинобудівне виробництво базується на переважному використанні сучасних машин з ЧПК та багатоцільових верстатів на їх основі. Відповідно до цього, є очевидним, що найбільш цінним компонентом системи технологічної обробки є верстат, і тому при розробці технологічних операцій необхідно оптимізувати технологічні рішення як за структурою технологічної операції, так і за параметрами різання. У традиційних умовах машинобудування, критеріями оптимізації технологічних процесів є максимальна продуктивність та мінімальна собівартість виготовлення одиниці продукції. За

умовах виробництва з переважним використанням машин з ЧПК основним критерієм оптимізації є максимальна ефективність обробки, при досягненні якої забезпечується практично і мінімальна собівартість обробки, що підтверджується дослідженнями технічних спеціалістів Sandvik Coromant. Встановлено, що оптимальні значення продуктивності обробки та витрат на обробку при використанні машин з ЧПК розташовані досить близько, а зона оптимальних швидкостей різання забезпечує практично одночасний мінімум двох функцій (рис.1.2.1).



Рисунок 1.2.1 - Вплив швидкості різання на час обробки та вартість обробки

Оброблення отворів є найбільш трудомістким серед процесів обробки різанням. Тому підвищення продуктивності та визначення ефективних умов свердління є невідкладним технологічним завданням.

Розділ 2

2.1 Особливості визначення сил різання при свердленні.

Процес свердління протікає в важких умовах різання, серед яких :

- затруднене відведення стружки і підведення охолоджуючої рідини;
- спостерігається значне тертя стружки по поверхні канавок свердла, тертя стружки і самого свердла по обробленій поверхні;
- швидкість різання уздовж ріжучої кромки змінюється від максимальної до нуля;
- внаслідок збільшення V і γ в точках різальної кромки від центру до периферії свердла деформація зрізаного шару, відповідно, зменшується.

У стандартних спіральних свердлах із за великого негативного переднього кута γ на поперечної кромці $-57^\circ \dots -60^\circ$ замість різання має місце зминання, видавлювання і скріблення металу, в результаті чого під час свердління стандартним спіральним свердлом підвищується температура, погіршується якість обробки, створюються несприятливі умови різання, знижується стійкість свердла.

У традиційного спірального свердла при обробці передній кут різний в різних точках ріжучого леза. Швидкість різання не постійна і змінюється від нуля в центрі свердла до певного максимального значення на периферії свердла.

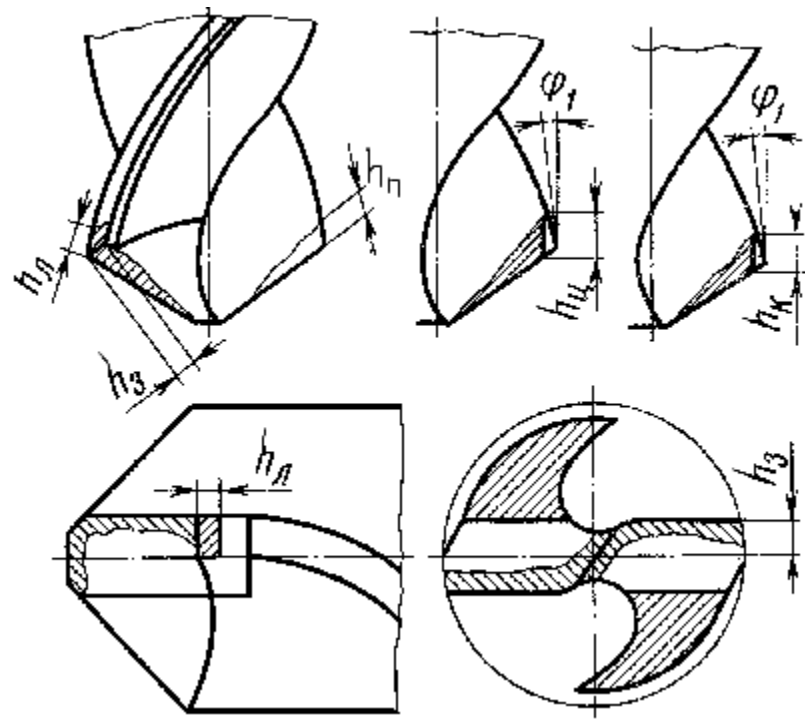


Рисунок 2.1.1 – Види зносу свердел

Геометричні форми зносу свердла зображені на рис. 2.1.1. h_3 – знос свердла по задній поверхні, $h_{л}$ – знос по стрічці, $h_{п}$ – знос по передній поверхні, $h_{ц}$ – знос циліндричної ділянки, $h_{к}$ – знос конічної ділянки.

Знос свердла по задній поверхні виникає внаслідок збільшення температури в зоні різання. Знос перемички свердла найбільш часто виникає при обробці твердих матеріалів або при високій швидкості різання. Найбільш значний знос свердла виникає по передній поверхні, при глибокому свердлінні. Знос ділянки стрічки примикає до ріжучої частини свердла залежить від деформації і відведення свердла, а також від інших факторів.

При свердлінні рівнодіюча сили різання, прикладені до ріжучих кромки свердла, розкладаються на три взаємно перпендикулярні складові сили: осьові сили $P_{ок}$; тангенціальні сили $P_{тг}$; радіальні сили P_r .

Осьова сила $P_{ок}$ долає опір матеріалу впровадженню свердла. Тангенціальні сили виникають за рахунок опору матеріалу заготовки відділенню зрізаного шару створюють на свердла крутний момент. Радіальні сили на двох ріжучих кромки спрямовані в протилежні сторони і взаємно врівноважуються, якщо вони рівні за величиною (інакше сприяють відведенню свердла). Крім

розширення аномально нагрітого матеріалу за рахунок дії поперечної кромки, призводять до похибки формоутворення, зміни форми і погіршення шорсткості поверхні отвори.

В результаті виділення великої кількості тепла на поперечної кромці (заштрихована зона на малюнку 2.1.1) через теплові розширення виникають додаткові сили, що діють на свердло. P_{py} - результуюча питомих сил $P_{уд}$ (умовно показані на одній стороні від осі свердла; вони розподілені рівномірно по колу); Результуюча питомих сил розкладається на складові $P_{p\Sigma}$ і $P_{o\Sigma}$, крім того, $P_{p\Sigma} = \Sigma P_{уд}$ викликає «розпирання», деформацію отвори в радіальному напрямку.

Різання під час свердління здійснюється п'ятьма кромками свердла: двома головними ріжучими кромками, перемичкою (поперечної кромкою) і двома допоміжними кромками напрямних стрічок. На кожній з них діють три складових сили, аналогічних точіння. Загальна рівнодіюча сил різання під час свердління складається зі складових сил, що діють на всіх кромках свердла (рис. 2.1.3.).

Для свердла розглядаються наступні технологічні напрямки складових сил: паралельно осі свердла (напрямку подачі) - осьові складові ($P_{xг}$ - сили на головній різальній кромки, $P_{xп}$ - сили на поперечної кромці, $P_{xл}$ - сили тертя на стрічках); сили, спрямовані перпендикулярно осі свердла (перпендикулярно обробленої поверхні) - $P_{yг}$ і окружні сили на головних різальних кромках - $P_{zг}$, $P_{zп}$ - сили на обох частинах поперечної кромки і сили тертя на напрямних стрічках - $P_{zл}$. Сили $P_{zг}$ і $P_{zс}$ спрямовані по дотичній до окружності в кожній точці різальних кромок. Суму всіх вертикальних сил, що перешкоджають просуванню свердла в заготовку, називають осьовою силою P_o або зусиллям подачі:

$$P_o = P_{xп} + 2P_{xг} + 2P_{xл},$$

Вимірювання показують, що осьова сила на перемичці $P_{xп}$ становить 57% від P_o , вертикальні складові сили на головних різальних кромках ($2P_{xг}$) - 40% і вертикальні складові сил тертя на стрічках ($2P_{xс}$) - близько 3%.

Суму всіх радіальних сил, спрямованих перпендикулярно осі свердла, - P_y , звичайні не розглядають, так як вважають, що вони взаємно врівноважені при симетричному розташуванні ріжучих кромки і однакових параметрах геометрії свердла. У разі відхилення, від симетрії, в геометрії свердла (наприклад, різна довжина головних різальних кромки) з'являється неврівноважена складова сили ΔP_y , яка призводить до відведенню свердла від осі свердління і розбивці отвори.

Окружні сили P_z створюють сумарний крутний момент опору різання, який складається з моменту від сил P_{zt} , моменту від сил скоблення і тертя на поперечної кромці - M_n і моменту від сил тертя на стрічках - $M_{л}$, тобто:

$$M_{кр} = M_{гл} + M_n + M_{л},$$

Вимірювання показують, що 80% припадає на $M_{гл}$, 8% - на M_n і 12% - на $M_{л}$.

Для практичних розрахунків необхідно знати значення осьової сили P_o і крутного моменту $M_{кр}$. При конструюванні верстата механізм подачі розраховується за максимальною осьової силі P_o .

Сумарний момент опору різання $M_{кр}$ з одного боку повинен бути менше, або, в крайньому випадку, дорівнювати обертальному моменту $M_{кр ст}$, що розвивається електродвигуном верстата на даному ступені частоти обертання шпинделя, але з іншого - менше, або, в крайньому випадку, дорівнювати максимальному крутному моменту $M_{кр ст}$, що допускається слабкою ланкою механізму головного руху верстата (щоб уникнути його поломки), тобто $M_{кр} < M_{кр ст}$. Момент $M_{кр ст}$ розраховують при конструюванні верстата і вказані зазвичай в його паспорті.

При розрахунку робочого пристосування на зусилля закріплення заготовки при свердлінні також необхідно знати P_o і $M_{кр}$.

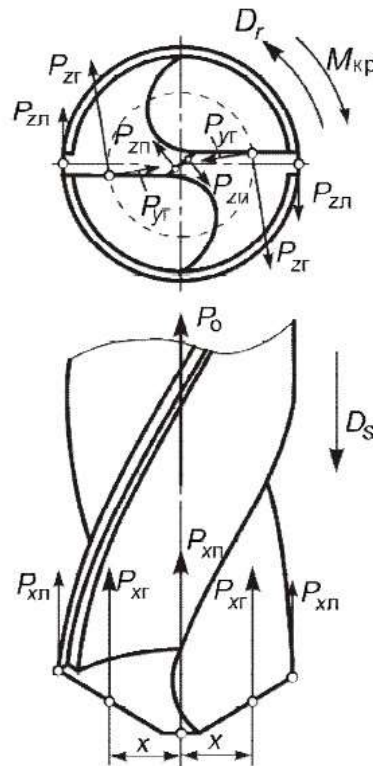


Рисунок 2.1.3 - Сили, що діють на окремі ріжучі кромки свердла

За силою P_0 і моменту $M_{кр}$ можна розрахувати необхідну (потрібну) потужність електродвигуна свердлильного верстата.

Потужність, що витрачається на різання, буде складатися з потужності, що витрачається на обертання, і потужності, що витрачається на рух подачі, тобто

$$N_{рез} = N_{вр} + N_{под},$$

Потужність, що витрачається на обертання, кВт,

$$N_{вр} = \frac{M_{кр}^n}{9750}$$

де $M_{кр}$ - крутний момент від сил опору різанню, Нм; n - частота обертання свердла, об / хв.

Потужність, що витрачається на подачу свердла, кВт,

$$N_{под} = \frac{P_0 S n}{60 \cdot 1000 \cdot 1000}$$

де P_0 - осьова сила, Н.

Розрахунки показують, що, як і при токарній обробці, потужність, що витрачається на рух подачі, становить 0,5-1,5% потужності, що витрачається на обертання свердла, і нею можна знехтувати. Тому, кВт,

$$N_{рез} = N_{вр} = \frac{M_{кр}^n}{9750}$$

Знаючи потужність, затрачену на різання, легко підрахувати і необхідну (потрібну) потужність електродвигуна верстата N_e .

2.2 Вплив параметрів процесу різання на осьову силу і крутний момент.

Чим більше діаметр свердла і величина подачі, тим більше площа поперечного перерізу зрізаного шару, більше обсяг деформованого металу і опір стружкоутворення, тим більше осьова сила і крутний момент від сил опору різання. Але, якщо подача впливає на параметри P_o і $M_{кр}$ приблизно однаково, то діаметр свердла впливає на крутний момент більше, ніж на осьову силу. Останнє пояснюється тим, що при збільшенні діаметра збільшується і плече, на якому діють дотичні сили. Різний вплив діаметра свердла і подачі враховується показниками ступеня в формулах для підрахунку осьової сили P_o і моменту $M_{кр}$.

Геометричні параметри свердла роблять істотний вплив на P_o і $M_{кр}$.

Так, зі зростанням кута нахилу гвинтової канавки γ (рис. 2.2.1 а) збільшується передній кут γ , а, значить, полегшується процес стружкоутворення і зменшуються P_o і $M_{кр}$.

Кут 2ϕ впливає на P_o і $M_{кр}$ аналогічно кутку в плані токарного різця, змінюючи співвідношення між шириною і товщиною зрізаного шару.

Зі збільшенням ϕ $M_{кр}$ зменшується, а P_o зростає (рис. 2.2.1 б).

Довжина поперечної кромки K надає більший вплив на P_o , ніж на $M_{кр}$ (рис. 2.2.1 в). Для зменшення P_o виконують спеціальні підточування перемички.

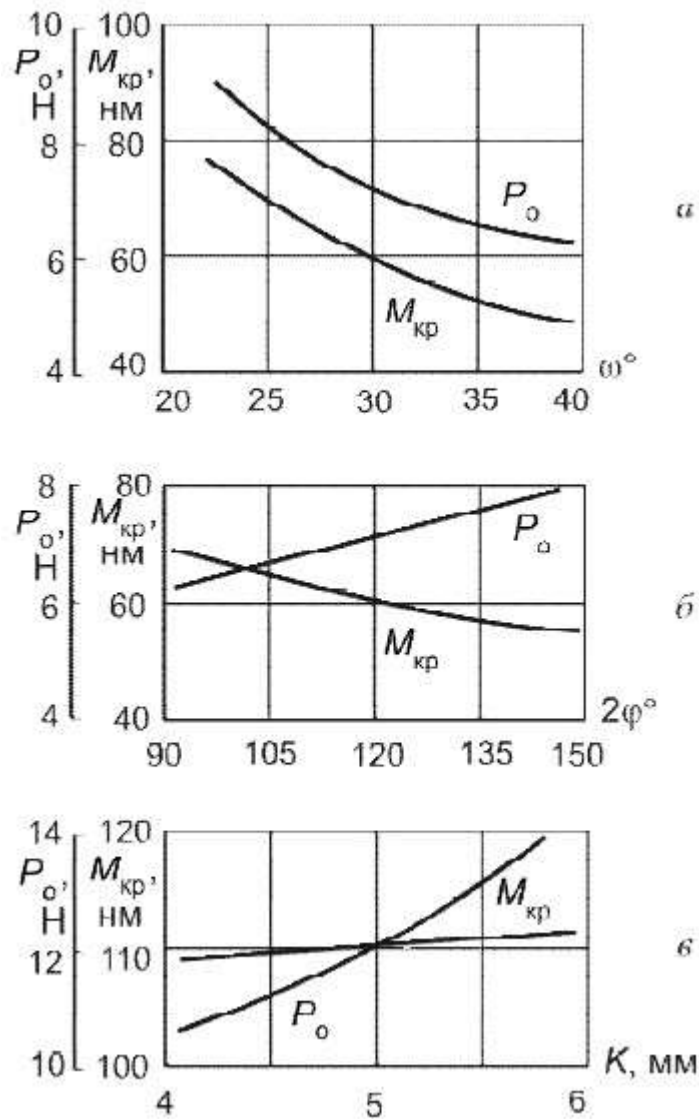


Рисунок 2.2.1 - Залежність P_o і $M_{кр}$ під час свердління від кута нахилу гвинтової канавки ω (а), кута при вершині 2φ (б) і довжини поперечної кромки (в)

Опрацьований матеріал. Чим вище межа міцності R_m або твердість HB оброблюваного матеріалу, тим більше осьова сила і крутний момент при свердлінні.

Ці залежності можуть бути виражені наступними рівняннями:

- при обробці сталі свердлами зі швидкорізальної сталі:

$$P_o = C_1 R_m^{0,75}; M_{кр} = C_2 R_m^{0,75}$$

- при обробці сірих чавунів свердлами, оснащеними твердим сплавом:

$$P_o = C_3 HB^{0,6}; M_{кр} = C_4 HB^{0,6}$$

Змащувально-охолоджувальніа рідина. Застосування під час свердління змащуючі-охолоджуючих рідин, як правило, рекомендується і викликає в порівнянні з обробкою всуху зменшення осьової сили й крутного моменту на 10-30% при обробці сталей, на 10-18% при обробці чавунів і на 30 - 40% при обробці алюмінієвих сплавів.

Глибина свердління. Зі збільшенням глибини свердління умови різання погіршуються. Відведення стружки і підведення свіжої ЗОР ускладнюється, тепловиділення збільшується. Все це приводить до зниження стійкості свердла, так і до підвищення осьової сили і крутного моменту.

Знос свердла. Зі збільшенням зносу свердла по задній поверхні сила P_o і момент $M_{кр}$ збільшуються; затуплене свердло в порівнянні з гострим підвищує ці параметри на 10-16%.

Для розрахунку осьової сили, H , і моменту при свердлінні, M_m , використовують емпіричні формули:

$$P_o = 9,8C_p D^{z_p} S^{y_p} K_p;$$

$$M_{рез} = 9,8C_m D^{z_m} S^{y_m} K_m;$$

де C_p і C_m - коефіцієнти, що характеризують матеріал і умови його обробки; D - діаметр свердла, мм; S - подача, мм / об; z_p ; y_p ; z_m ; y_m - показники ступенів; K_p ; K_m - загальні поправочні коефіцієнти на зміну умов обробки.

У табл. 2.2.4 наводяться значення C_p , C_m , z_p , y_p , z_m , y_m для свердел з нормальною заточуванням ріжучої частини при обробці різних металів з заданими R_m , HB , з охолодженням (в разі обробки сталей) і в суху (в разі обробки сірого чавуну).

Таблиця 2.2.1 - Коефіцієнти і показники ступеня в формулах для розрахунку осьової сили і моменту від сил опору різання під час свердління

Матеріал заготовки	Матеріал інструмента	P	C _m	У _p	У _m	z _p	z _m
Сталь конструкційна HB=215 R _m = 750 МПа	P6M5	68	0,0345	0,7	0,8	1,0	2,0
Чавун сірий HB 190	BK8	42	0,012	0,75	0,8	1,2	2,2

За інших умов обробки необхідно вводити поправочні коефіцієнти K_p і K_m , якими, як правило, враховується тільки міцність або твердість оброблюваного матеріалу.

Розділ 3

Алгоритм розрахунку режимів різання під час свердління отворів.

3. 1 Свердління швидкорізальними спіральними свердлами.

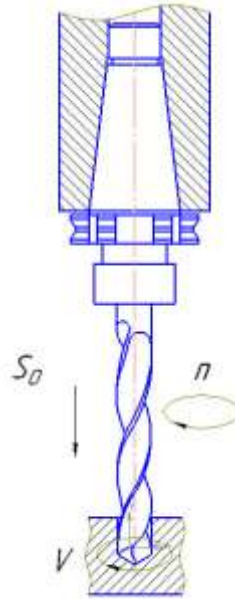


Рисунок 3.1.1 - Схема процесу свердління.

Режим різання під час свердління повинен забезпечувати максимальну продуктивність операції при заданій стійкості інструменту за рахунок призначення певного поєднання глибини різання, подачі свердла і швидкості різання.

Свердління може бути як остаточною операцією формування отвори, так і попереднім етапом обробки для подальшої операції зенкерування і розгортання, метою яких є підвищення точності одержуваного отвори і зниження шорсткості поверхні.

При свердлінні глибина різання становить $t = 0,5D$, при розсвердлюванні $t = 0,5 (D-d)$.

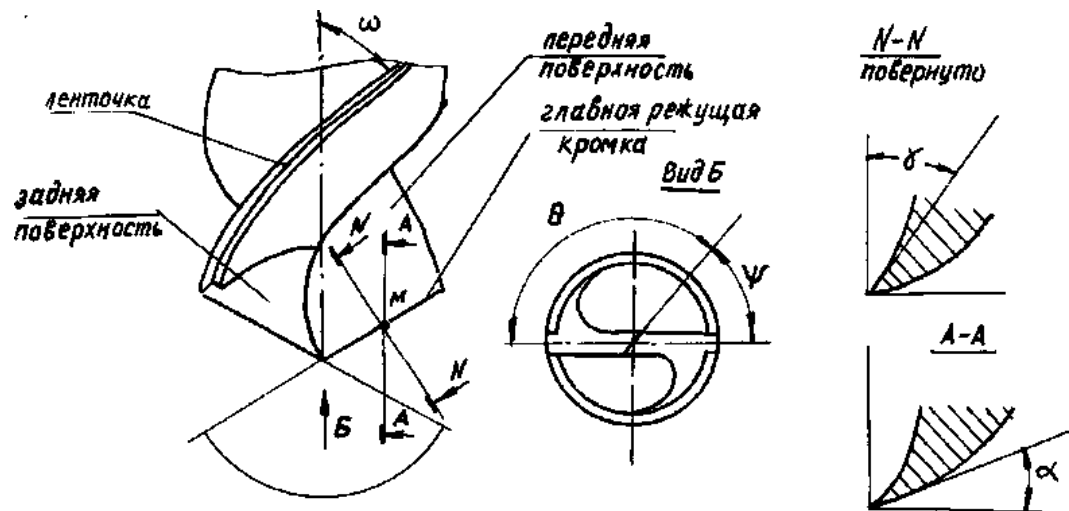


Рисунок 3.1.2 - Геометричні параметри спірального свердла

Якщо свердління не є заключною операцією формування отвори, необхідний діаметр свердла d , визначають за формулою

$$d = D - 2t_{\text{зен}} - 2t_{\text{разв.черн}} - 2t_{\text{разв.чист}}, \text{ мм},$$

де $t_{\text{зен}}$ - припуск під зенкерування, мм; $t_{\text{разв.черн}}$ - припуск під чорнове розгортання, $t_{\text{разв.чист}}$ - припуск під чистове розгортання.

Отриманий діаметр свердла необхідно уточнити на відповідність ГОСТ 885-77 (перевидання 1986 р.). Встановлює діаметри спіральних свердел. Приймають найближче менше значення діаметра зі стандартного ряду.

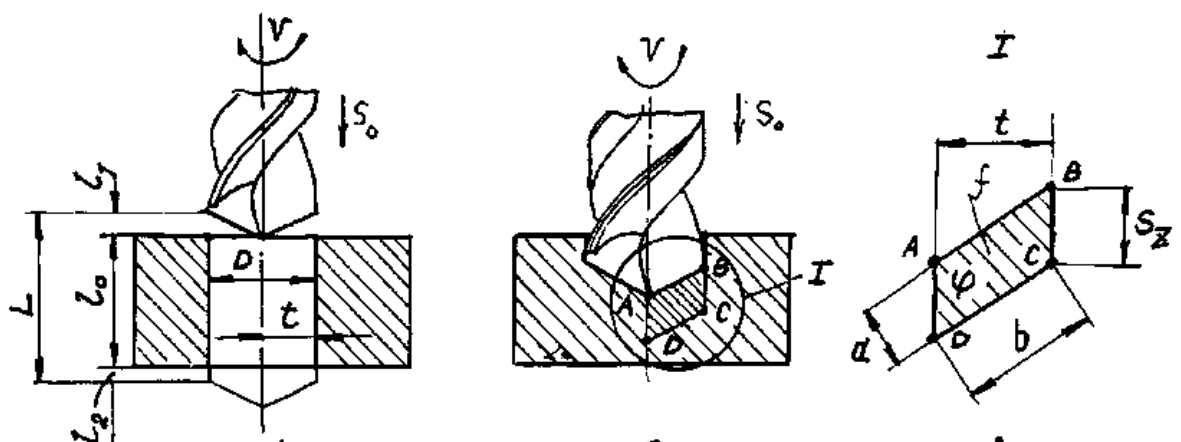


Рисунок 3.1.3 - Елементи режиму різання при свердлінні:

- D -діаметр свердла (отвори);

-L - глибина різання;

- S_0 - подача, мм / об;

- S_z - подача, мм / зуб,

- $f = s_z \cdot t$ - площа поперечного перерізу зрізаного шару;

-b - приведена довжина;

- l_0 - глибина свердління;

- l_1 - шлях врізання;

- l_2 - перебігаючи свердла.

Подача при свердлінні залежить, перш за все, від діаметра свердла, а також від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, глибини отвору і ін. чинників.

для свердел з $d \leq 10$ мм $S_0 = 0,025 \times K_S \times K_{HBS} \times K_{IS} \times K_{IS} \times d$, мм / об,

для свердел з $d > 10$ мм $S_0 = 0,063 \times K_S \times K_{HBS} \times K_{IS} \times K_{IS} \times d$, 0,6, мм / об,

де, K_S - коефіцієнт, що враховує вплив марки оброблюваного матеріалу,

Таблиця 3.1.1

Опрацьований матеріал	K_S	K_v
Сталі підвищеної оброблюваності (типа А20, и др.)	1,2	1,2
Сталі вуглецеві якісні (типа сталі 40, 45, 50 и др.)	1.0	1.0
Сталі низколеговані (типа 20Х, 40Х, 30Г и др.)	0.9	0.9
Сталі середньолеговані (типа 35ХГСА, 38ХМА, 38ХС, 18ХНВА и др.)	0.8	0.75
Сталі високолеговані корозійностійкі, жаростійкі, жароміцні (типа 20Х13, 12Х18Н10Т та інш.)	0.7	0.6
Чавун сірий	1.5	1.0
Алюмінієві сплави	2.5	1.65
Мідні сплави	2.5	1.5

K_{HBS} і K_{IS} - коефіцієнти, що враховують відповідно вплив твердості оброблюваного матеріалу і глибини отвору l_o , мм. Ці коефіцієнти можуть бути визначені за табл. 3.1.2;

Таблиця 3.1. 2

Оброблюваний матеріал	K_{HBS}	K_{IS}	K_{HBv}	K_{lv}
Алюмінієві сплави	$\left(\frac{80}{HB}\right)^{1,5}$	$1,2 \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^{0,2}$	$\left(\frac{80}{HB}\right)^{1,0}$	$1,5 \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^{0,4}$
Алюмінієві сплави Мідні сплави	$\left(\frac{120}{HB}\right)^{1,5}$	$1,2 \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^{0,2}$	$\left(\frac{120}{HB}\right)^{1,0}$	$1,5 \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^{0,4}$

K_{IS} - коефіцієнт, що характеризує умови свердління: для «звичайних» умов свердління $K_{IS} = 1,0$, для важких умов $K_{IS} = 0,6$. Під важкими умовами мається на увазі свердління отворів в деталях малої жорсткості, для отримання наскрізних отворів, отворів на похилих поверхнях і т.д.

Розраховане значення подачі S_o слід уточнити в більшу сторону за паспортними даними обладнання і використовувати значення $S_{об ст}$ при подальших розрахунках.

Швидкість різання під час свердління V для режиму нормальної інтенсивності може бути розрахована за формулами:

при свердлінні стали:

$$v = \frac{9,8 \cdot d^{0,4}}{T^{0,2} \cdot S_{o ст}^{0,5}} \cdot K_v \cdot K_{HBv} \cdot K_{lv} \cdot K_M \cdot K_\pi \cdot K_T \cdot K_c \cdot K_\phi; \frac{м}{хв},$$

при свердлінні чавуну:

$$v = \frac{8,3 \cdot d^{0,35}}{T^{0,125} \cdot S_{o ст}^{0,475}} \cdot K_v \cdot K_{HBv} \cdot K_{lv} \cdot K_M \cdot K_\pi \cdot K_T \cdot K_c \cdot K_\phi; \frac{м}{хв},$$

де T - задана стійкість свердла, хв.

Рекомендоване значення стійкості може бути прийнято за нормативами [2] або підраховано по наближеним емпіричним залежностям, наведеним в табл.3.1.3 (див. також наведені нижче пояснення по вибору коефіцієнта K_t). Поправочний коефіцієнт K_v , що характеризує вплив марки оброблюваного матеріалу, знаходять по табл. 3.1.3.

Таблиця 3.1.3

Оброблюваний матеріал	Стійкість Т, хв.	
	Клас точності свердла А1	Клас точності свердла В та В1
Сталь	$10d^{0,6}$	$6d^{0,7}$
Чавун	$24d^{0,6}$	$17d^{0,5}$

Поправочний коефіцієнт K_{HBS} , що характеризує вплив твердості оброблюваного матеріалу і коефіцієнт K_{lv} , що характеризує довжину (глибину) оброблюваного отвору l_0 , вибирають по табл. 3.1.2.

Поправочний коефіцієнт K_m , що характеризує інструментальний матеріал свердла, визначають по табл. 3.1.4.

Таблиця 3.1.4.

Марка швидкорізальної сталі	K_m
P6M5	1.0
P6M5K5	1.06
P6M4K8	1.17
P2M5, 11P3M3Φ2	0.92

При виборі інструментального матеріалу для виготовлення свердла слід брати до уваги такі міркування. Для звичайних умов свердління вуглецевих і низьколегованих сталей, що мають нормальну (HB 180 ... 220) і знижену твердість (HB <180), можна використовувати свердла зі сталі P6M5. Цю ж марку можна застосовувати під час свердління чавуну з HB <200.

Для обробки середньолегованих сталей, а також вуглецевих і низьколегованих сталей підвищеної твердості HB 220 ... 250 і чавуну з HB > 200 рекомендується використовувати свердла зі сталі P6M5K5. Для жароміцних

сталей, а також матеріалів з високою твердістю ($HB > 250$) рекомендується застосовувати свердла зі сталі Р9М4К8. Для сталей підвищеної оброблюваності, а також матеріалів з низькою твердістю $HB\ 130 \dots 150$, можна застосовувати малолеговані недорогі швидкорізальні сталі Р2М5 і 11Р3МЗФ2.

Поправочний коефіцієнт K_p характеризує наявність зносостійкого покриття. Для свердел без покриття приймають $K_p = 1,0$, для свердел з зносостійким покриттям $K_p = 1,15$.

Поправочний коефіцієнт K_t , що характеризує ступінь точності свердла, визначають по табл. 3.1.5. Свердла підвищеної точності класу А1, виготовлені методом вишліфовки канавок і спинок, мають більш високу стійкість, використовуються зазвичай на відповідальних роботах, на автоматизованому обладнанні, при підвищених вимогах до надійності інструменту і т. п. Такі свердла мають велику вартість і виготовляються, як правило, невеликих діаметрів.

Таблиця 3.1.5

Тип свердла	Клас точності	K_t
Фрезерування або катані	В	1,0
	В ₁	1,05
Шлифовані	А ₁	1,15

Поправочний коефіцієнт K_s характеризує довжину робочої частини свердла. Найчастіше для свердління отворів в машинобудуванні використовують свердла середньої серії з конічним хвостовиком за ГОСТ 10903-77 (перевидання 1986 р.) Або з циліндричним хвостовиком за ГОСТ10902-77 (перевидання 1986 р.).

Для свердління отворів малу глибину в масовому і великосерійному виробництві для підвищення стійкості рекомендується застосовувати свердла короткій серії, а для обробки глибоких отворів - довгі і подовжені свердла відповідних серій. Для сверدل середньої серії довжину робочої частини l , мм, можна в першому наближенні підрахувати за емпіричною формулою:

$$l = 15d^{0,7}, \text{ мм.}$$

Знаючи довжину робочої частини свердла, значення поправочного коефіцієнта K_c можна підрахувати за формулою:

$$K_c = 1,7 \cdot \left(\frac{d}{l_1}\right)^{0,3}.$$

Поправочний коефіцієнт K_ϕ , що характеризує форму заточування ріжучої частини свердла, встановлюють згідно табл. 3.1.6.

Таблиця 3.1.6.

Обробляючий матеріал	Форма заточки	d, мм	K _ф
	Найменування		
Сталь, сталіні відливки, чавун	Нормальна (без підточок)	-	1.0
Сталіні відливки s _в <500 МПа з коркою	Нормальна з підточкою перемички	Св. 12	1.2
Сталіні відливки s _в <500 МПа з коркою й чавун з коркою	Подвійна (з подвійним кутом j)		
	Подвійна з підточкою перемички		

Частоту обертання шпинделя n визначають за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d}, \text{ об/хв}$$

Отримане значення n уточнюють в меншу сторону за паспортними даними обладнання.

Фактичне значення швидкості різання v_ϕ , м / хв, так само

$$v_{\phi} = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{\text{ст}}}{1000}, \text{ м/хв}$$

Свердління малорозмірних отворів спірального свердла зі швидкорізальної сталі діаметром 0,4 ... 3 мм.

Подача свердла визначається за формулою:

$$S_o = 0,016 \cdot d \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \text{ мм / об,}$$

де K_1 - поправочний коефіцієнт, що характеризує умови свердління, вибирається на основі даних табл. 4.10.

Таблиця 3.1.7

Условия сверления	K_1
Свердління: глибоких та похилих отворів; під наступні чистові операції; в деталях з важкооброблюваних матеріалів; при малій жорсткості технологічної системи	0,75
Свердління: отворів точністю не вище Н13; під подальше нарізування різьблення; при недостатній жорсткості технологічної системи	1.0
Свердління: отворів точністю не вище Н13; в конструкційних сталях; при підвищеній жорсткості технологічної системи	1.25

K_2 - поправочний коефіцієнт, що характеризує глибину отвору l_o , визначається за формулою:

$$K_2 = \frac{1,23}{\left(\frac{l_o}{d}\right)^{0,19}}$$

K_3 - поправочний коефіцієнт, що характеризує твердість оброблюваної сталі, визначається за формулою:

$$K_3 = \frac{480}{HB^{1,1}}$$

Для обробки чавунів і кольорових металів $K_3 = 1,0$.

Швидкість різання визначається за формулою:

$$V = \frac{C_v D^z K_4 K_5 K_6}{T^m S_0^y}, \text{ м/хв}$$

Значення коефіцієнта C_v і показників ступеня наведені в табл.3.1.8.

Таблиця 3.1.8

Обробляючий матеріал	v	z	m	y	d=0,4...1,0 мм		d=0,4...1,0 мм	
					т	q	C _т	q
Сталі	0.75	1.3	0.25	0.8	9.7	0.38	10.9	0.56
Чавуни	1.29	1.4	0.3	0.9	17.8	0.44	18.2	0.52
Алюмінієві сплави	1.9	1.7	0.4	1.0	25	0.55	26.8	0.39
Мідні сплави	3.5	1.6	0.35	0.95	23.8	0.35	40.0	0.55

Стійкість малорозмірних свердел можна обчислити за наближеною формулою:

$$T = CT \times dq, \text{ хв.}$$

K_4 - поправочний коефіцієнт, що характеризує глибину отвору l_0 , визначається за формулою:

$$K_4 = \frac{1,64}{\left(\frac{l_0}{d}\right)^{0,45}}$$

K_5 - поправочний коефіцієнт, що характеризує довжину робочої частини свердла l , визначається за формулою:

$$K_5 = \frac{1,9}{\left(\frac{l}{d}\right)^{0,28}}$$

Для непідточувальних стандартних свердел значення l можна приймати: для свердел довгої серії - по ГОСТ 886-77 (перевидання 1986 р.) . Або приблизно обчислювати за формулою $l = 37d^{0,55}$. Для свердел короткої серії l визначається за ГОСТ 4010-77 (перевидання 1985 р.) Або наближено обчислюється за формулою: $l = 6,63d^{0,83}$.

K_6 - поправочний коефіцієнт, що характеризує твердість оброблюваної стали, визначається за формулою:

$$K_6 = \frac{3,5}{HB^{0,66}}$$

Для обробки чавунів і кольорових металів $K_6 = 1,0$.

Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000v}{\pi d}, \text{ об/хв}$$

При ступінчастому регулюванні частот обертання шпинделя верстата величина n уточнюється в меншу сторону.

3.2 Свердління твердосплавними свердлами

Існує різні конструкції твердосплавних свердел. У першому наближенні всі вони можуть бути розділені на наступні групи:

- цілісні твердосплавні свердла, що мають порівняно малий діаметр 0,2 ... 12 мм, (ГОСТ 17273-71 ... 17277-71, перевидання 1985-86 рр.) (ГОСТ 17275, ГОСТ 17274),

- спіральні свердла, виготовлені з інструментальних сталей з одного платівкою твердого сплаву, упаяний в торцевий паз свердла, двома твердосплавними пластинами, припаяними в пази ріжучих пір'я, або припаяної твердосплавних робочою частиною, - свердла спеціального призначення, найчастіше не мають спіральних канавок, і з примусовим підведенням СОТС: кільцеві, одностороннього різання, рушничні, для глибокого свердління й т.п.,

- збірні свердла на основі змінних багатогранних пластин твердого сплаву.

Вибір режимів різання для роботи збірних свердел на основі ЗБП, і свердел спеціального призначення буде розглянуто в 4 і 5 розділі.

Пропоновані нижче рекомендації можуть бути використані для свердел спіральних цільних твердосплавних, відповідних ГОСТ 17273, 17274, 17275 і свердел спіральних, оснащених пластинками твердого сплаву, відповідних ГОСТ 22735, ГОСТ 22736, а також для свердел аналогічних конструкцій. Технічні

умови свердел повинні відповідати ГОСТ 17277-71 (перевидання 1985 г.) і ГОСТ 5756-81 відповідно.

Подача може бути підрахована по залежності:

$$S_o = C_S \cdot K_{HBS} \cdot d^{z_s}, \text{ мм/об}$$

а частота обертання шпинделя по залежності:

$$n = \frac{C_v \cdot K_M \cdot K_{HBV}}{d^{z_v}}, \text{ об/хв}$$

Значення коефіцієнтів C_S , C_v , і K_M характеризують групу і вид оброблюваного матеріалу, K_{HBS} і K_{HBV} - вплив твердості оброблюваного матеріалу на подачу і частоту обертання шпинделя відповідно, d - діаметр свердла в мм.

Значення коефіцієнтів і показників ступеня для монолітних свердел вказані в табл. 3.2.1, а для свердел з пластинками твердого сплаву - в табл. 3.2.2.

Таблиця 3.2.1

Обробляючий матеріал	K _M	C _V	Z _V	K _{HB_V}	C _S	Z _S	K _{HBS}
Сталь підвищеної оброблюваності	1.2	6360	0.5	350/HB ^{1.1} або 28/HRC ^{1.1} або 500/σ _B ^{0.95}	0.021	0.77	280/HB ^{0.92} або 35/HRC ^{0.92}
Сталь вуглецева, якісна	1.0						
Сталь низколегована	0.9						
Сталь середньолегована	0.75						
Сталь високолегована, корозійностійка. Жароміцні та жаростійкі сталі та сплави	0.6						
Тітанові сплави	0.8	1930	0.18	180/HB ^{1.14}	0.022	0.78	1
Алюмінієві сплави	2.5	4400	0.5	1			
Мідні сплави	2.0	4250					
Пластичні маси	2.5	4300					
Чавун	1.0	4770					

Таблиця 3.2.2

Обробляючий матеріал	М	V	V	K_{HBV}	S	S	K_{HBS}
Сталь підвищеної оброблюваності	1.2	3820	0.6	$350/HB^{1.1}$ або $28/HRC^{1.1}$ або $500/\sigma_B^{0.95}$	0.022	0.84	$280/HB^{0.92}$ Або $35/HRC^{0.92}$
Сталь вуглецева, якісна	1.0						
Сталь низьколегована	0.9						
Сталь середньолегована	0.75						
Сталь високолегована, корозійностійка. Жароміцні та жаростійкі сталі та сплави	0.6						
Титанові сплави	0.8	640	0.18	$180/HB^{1.1}$ 4	0.022	0.08 4	1
Алюмінієві сплави	2.5	2650	0.5	1	0.026	0.8	1
Мідні сплави	2.0	2350			0.017	0.57	
Пластичні маси	2.5	2500			0.021	0.59	
Чавун	1.0	2300	0.34	$1100/HB^{1.3}$	0.026	0.8	$800/HB^{1.3}$

При необхідності підраховані значення подачі на оборот уточнюються за паспортними даними верстата в більшу сторону, а частота обертання шпинделя - в меншу сторону.

На першому етапі критерієм правильності вибору режиму свердління може служити отримується стійкість інструменту T , хв. Середня стійкість свердел спіральних цільних твердосплавних повинна відповідати підрахованій по залежності: $T = 1,15 \times d^{1,2}$, хв, а свердел з пластинками твердого сплаву: $T = 2,25 \times d^{1,05}$, хв.

3.3 Знос та стійкість спірального свердла

При свердлінні стружки зрізаються широкі і тонкі, тому спіральні свердла зношуються в основному по задніх поверхнях головних різальних кромок. При цьому знос має вигляд фаски, змінної але довжині ріжучих кромок ширини h , величина якої приблизно пропорційна радіусу свердла. При свердлінні крихких матеріалів знос свердла відбувається по кутках h_y . При свердлінні на високих швидкостях в'язких матеріалів знос відбувається по передніх поверхнях у вигляді лунки зносу і по стрічок у вигляді фаски зносу h (рис. 3.3.1).

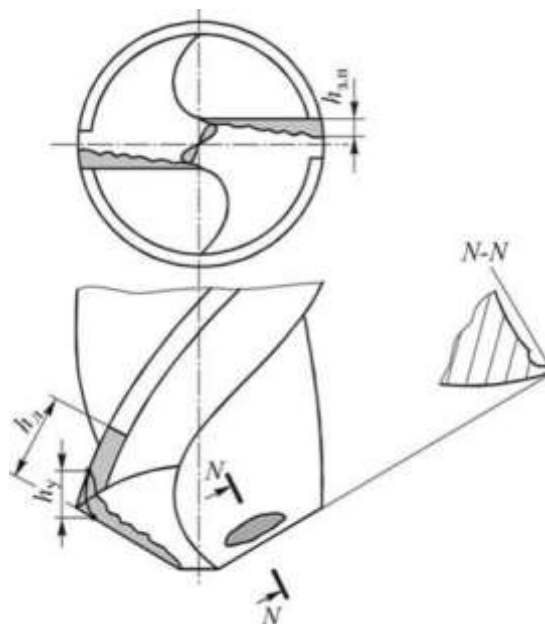


Рисунок 3.3.1. Види зносу на різних ділянках передніх і задніх поверхонь спірального свердла

Найбільш небезпечним є знос по кутках і стрічок свердла, так як в цьому випадку при великому зносі в процесі переточки доводиться сточувати значний обсяг інструментального матеріалу. Тому під час свердління можна допускати катастрофічного зносу свердел у вигляді оплавлення куточків і затирання стрічок.

Поперечна ріжуча кромка через малих швидкостей тертя в центрі свердла зношується значно повільніше. Великий знос цієї кромки викликає різке зростання осьової сили різання, а знос по стрічок - значне збільшення крутного моменту. Інтенсивний знос поперечної ріжучої кромки свідчить про те, що в процесі виготовлення свердла був порушений режим термічної обробки інструментального матеріалу.

Вплив різних факторів на знос свердел по задніх поверхнях при обробці конструкційної сталі може бути виражена такою емпіричною формулою:

$$h_{з.п.} = C v^{4,85} S^{2,35} T^{1,42}$$

З цієї формули випливає, що найбільший вплив на знос свердла надає швидкість різання і значно менший вплив - подача. Тому з точки зору зносу свердла краще працювати з більшою подачею і меншою швидкістю різання, що при заданій стійкості T забезпечує більшу продуктивність процесу свердління.

Між швидкістю різання і стійкістю свердла є залежність:

$$V = \frac{C_v}{T^m}$$

Показник відносної стійкості для швидкорізальних спіральних свердел - $m = 0,125 \dots 0,2$, а економічна стійкість інструменту при одноінструментному налагодженню зазвичай $T \cdot d$, хв, де d - діаметр свердла.

Допустима величина фаски зносу спіральних свердел на куточках призначається залежно від оброблюваного матеріалу і приводиться в нормативах по режимам свердління. Так, наприклад, під час свердління конструкційних сталей величина цієї фаски $h = 0,3 \dots 0,8$ мм. При цьому більше значення ширини фаски зносу відноситься до свердла великих діаметрів. На практиці про остаточне

затуплення свердла зазвичай судять по появі вібрацій, що супроводжуються характерним скреготом, а також синьої або жовтої стружки.

Швидкість різання при свердлінні розраховують за рівнянням:

$$V = \frac{C_v d^{x_v}}{T^m S^{y_v}} K_v$$

де C - коефіцієнт, що залежить від властивостей оброблюваного матеріалу [для конструкційної сталі ($C > 0,6\%$) і $\sigma_b = 750$ МПа $C_v = 8,9$ - для подачі $s < 0,2$ мм / об; $C_v = 12,4$ - для подачі $s > 0,2$ мм / об; для чавуну твердістю 190 НВ $C_v = 17,6$ - для подачі $s < 0,2$ мм / об; $C_v = 20,6$ - для подачі $s > 0,2$ мм / об];

m - показник ступеня для конструкційної сталі і чавуну відповідно 0,2 і 0,125; x_v - відповідно 0,4 і 0,25; y_v - відповідно 0,6 і 0,5 [3];

K_v - коефіцієнт, що враховує вплив МОР, глибини свердління, способи заточування та ін., $K_v = K_{с0ж} K / K_A$.

Зазвичай нормативи розробляють для випадку свердління на вертикально-свердильних верстатах отворів глибиною до $3d$ з подачею МОР у вигляді водної емульсії поливом зверху. Великим недоліком цього способу охолодження є утруднені умови потрапляння МОР в зону різання, викликані сходять стружкою і формою робочої частини свердла, що діє як гвинтовий насос, відкачує МОР з отвору. Крім того, при зіткненні МОР з нагрітими ділянками свердла при випаровуванні утворюється парова «сорочка», яка погіршує тепловідвід. Тому кращі результати дає внутрішній підведення МОР під тиском через отвори в свердлі, що поліпшує до того ж відведення стружки з отвору. При цьому незалежно від розташування осі свердла (вертикальне, горизонтальне) і глибини свердління забезпечується висока охолоджуюча і змазує дії МОР. Стійкість свердел стає тим більше, чим нижче теплопровідність оброблюваного матеріалу. Так, наприклад, під час свердління високолегованих сталей (1Х18Н9Т, 45Г17ЮЗ і ін.), Що мають в 4 рази меншу теплопровідність, ніж сталь 40, досягнуто підвищення стійкості свердел в 40 разів у порівнянні з подачею МОР поливом, в той час як під час свердління сталі 40 - тільки в 4 рази. Збільшення глибини отворів під час свердління з подачею МОР поливом ускладнює умови її

надходження в зону різання і знижує ефективність охолодження. Тому при використанні таких свердел при розрахунках рекомендується знижувати режими різання шляхом введення поправочного коефіцієнта K , величина якого залежить від ставлення l / d (табл. 3.3.1).

3.3.1. Значення поправочного коефіцієнта K , в залежності від відносної глибини отвору U_d :

U_d	3	4	5	6	8	10
K ,	0.9	0.8	0.7	0.65	0.56	0.5

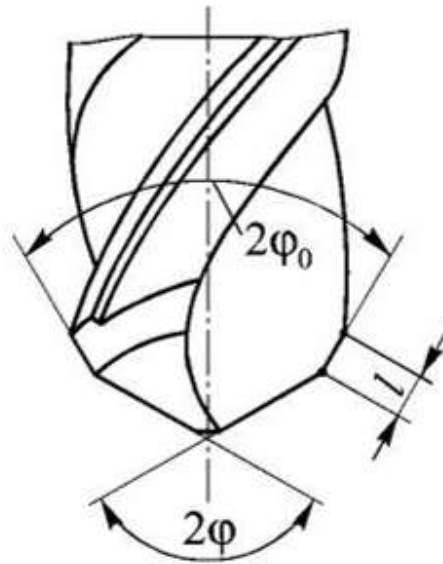
До основних недоліків спіральних свердел, що знижують їх стійкість, відносяться:

- 1) великі позитивні передні кути на периферії;
- 2) несприятлива геометрія поперечної ріжучої кромки;
- 3) відсутність задніх кутів на допоміжних ріжучих кромках, розташованих на стрічках свердла.

Для виправлення цих недоліків спіральних свердел рекомендуються такі заходи.

1. Подвійна заточка (рис. 3.3.2). Застосовують для зменшення інтенсивності зношування куточків на зовнішніх ділянках головних різальних кромок. Для цього на куточках свердла заточують фаски довжиною $l = (0,2 \dots 0,25)$ з подвійними кутами при вершині $2\varphi_0 = 70^\circ$ і $2\varphi = 116 \dots 120^\circ$. Така заточка під час свердління сталей свердлами діаметром $d > 10$ мм збільшує стійкість свердел в

рис. 3.3.2. Подвійна заточка спірального свердла



Рисинок 3.3.2 -Подвійна заточка

2. Підточка перемички.

Застосовують для зниження осьової сили P_o і підвищення подачі.

Найбільш часто вживані способи підточування свердел показані на рис. 3.3.3. Наприклад, на обох полукромках шляхом вибірки металу з передніх поверхонь і залишення перемички довжиною l_n створюють нульові передні кути замість негативних кутів (рис. 3.3.3 а) або зменшують довжину перемички до величини $l_{II} = 1,5$ мм у свердел діаметром $d = 12 \dots 15$ мм або $l' = 4$ мм у свердел діаметром $d = 40 \dots 50$ мм (рис. 3.3.3 б). Останній спосіб за рахунок скорочення довжини перемички і поліпшення умов відведення стружки дозволяє знизити осьову силу.

Однак він не забезпечує значного зменшення негативних кутів. на підточеної частині. Підточка поперечної ріжучої кромки не зменшує жорсткість свердла, але знижує осьову силу і сприяє підвищенню стійкості свердел в 1,5 ... 1,7 рази.

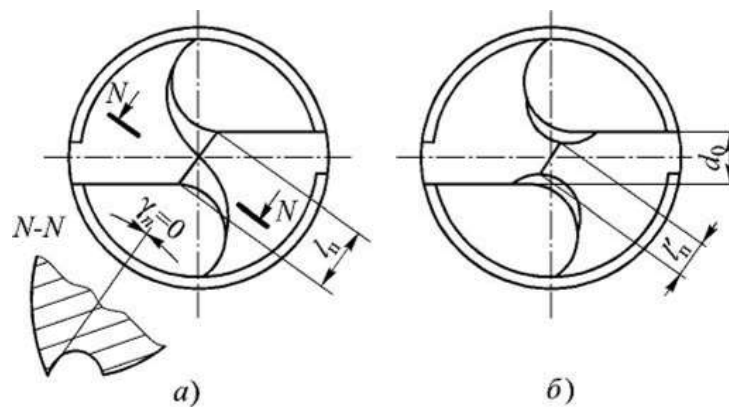


Рисунок 3.3.3. Подточка поперечної ріжучої кромки спірального свердла з метою:

- а - створення нульових передніх кутів;
- б - укорочення поперечної ріжучої кромки.

3. Створення задніх кутів на стрічках свердла ($\alpha = 6 \dots 8^\circ$) (рис. 3.3.3) забезпечує зниження сил тертя між свердлом і стінками обробленого отвору. Це досягається за рахунок підточування стрічки на невеликій ділянці довжиною $l_\phi = 1,5 \dots 3$ мм з залишенням ділянки стрічки шириною $l_0 = 0,2 \dots 0,4$ мм, щоб уникнути погіршення умов центрування і напрямки свердла в отворі. При свердлінні сталей така подточка забезпечує підвищення стійкості свердел в 1,5 рази за рахунок зниження тертя і запобігання налипанню дрібної стружки, що збільшує інтенсивність зносу свердел. Подточка стрічок не рекомендується під час свердління заготовок з ливарної або штампувальної корками, а також під час свердління матеріалів підвищеної твердості через швидке зношення калібрують стрічок свердел.

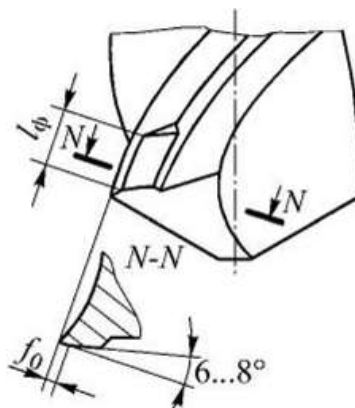


Рисунок 3.3.4. Подточка калібруючої стрічки спірального свердла

Розділ 4

Вплив умов різання на період стійкості при свердленні

4.1 Стійкість свердла і швидкість різання при свердлінні.

Зважаючи на значні труднощі, пов'язаних з відведенням стружки і охолодженням інструменту, особливо при глибокому свердлінні, швидкість різання V впливає на стійкість інструменту більшою мірою порівняно з різцями. Залежність T - V добре характеризує умови продуктивного використання ріжучого інструменту під час свердління. Тут є звичайна залежність:

$$T = \frac{C_T}{V^m} \quad \text{або} \quad V = \frac{C_V}{T^m}.$$

де m — ступінь відносної стійкості; коливається приблизно в межах 5-10. Для практичних розрахунків під час свердління свердлами зі швидкорізальної сталі приймають в середньому $m \approx 5$.

Користуючись відомим нам методом, можна визначити економічного стійкість, т. е. найвигідніший час роботи свердла до затуплення. Очевидно, цей час має зростати зі збільшенням розміру свердла, оскільки при цьому збільшуються виробничі витрати. Розрахунки показують можливість прийняти період стійкості T приблизно рівним діаметру свердла d під час свердління сталі та $T = 2d$ під час свердління чавуну.

На практиці повне використання свердла, т. е. кількість переточувань його і час машинної роботи до повного зносу, нерідко скорочується, так як інструмент, особливо малого діаметра, фарбували і навіть руйнується під впливом перевантаження або вібрацій. Це часто відбувається з причин поганого виведення стружки, застрягання і пакетування її в отворі. Тут особливо бажано застосування СОС, що володіють хорошими мастильними і проникаючими властивостями, для зменшення тертя. Крім того, доводиться іноді заточувати свердла спеціально з урахуванням жорсткості системи СНІД; наприклад, при свердленні важко-оброблюваних сталей і сплавів на нежорстких верстатах зменшують кути 2ϕ і збільшують задні кути поблизу поперечної кромки, хоча це

може бути і не вигідним з точки зору стійкості свердла при нормальних умовах його роботи.

При свердлінні малих отворів у в'язких сталей, наприклад у стали ХНВА, інструмент намагнічується і притягував до ріжучих кромek дрібну стружку, що різко погіршувало роботу інструмента. Можна вважати, що в цьому випадку позитивну роль мали б різне охолодження інструменту при частих відводах його з отвору, електроізоляція зони різання (інструменту) або спрямовані противотоки. Окремі дослідження показали багаторазове збільшення стійкості зі збільшенням числа висновків від одного до 4 разів за час свердління одного отвору.

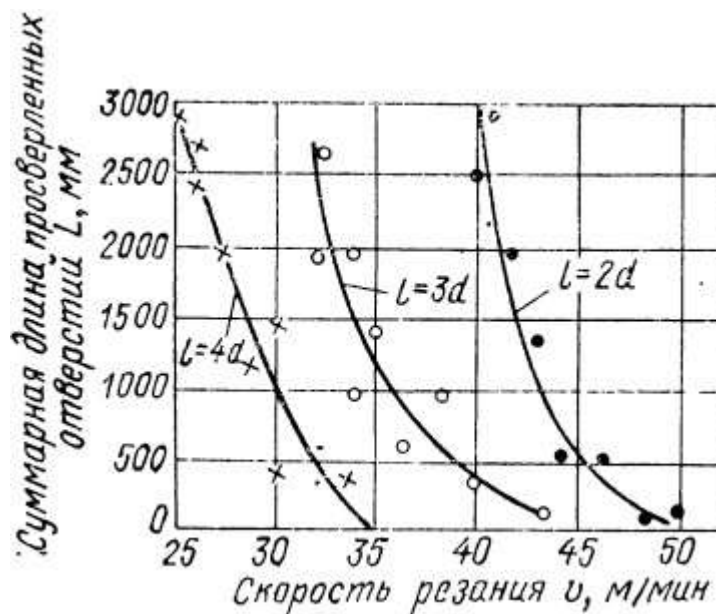


Рисунок 4.1.1 - Вплив глибини свердління на стійкість свердел.

Оскільки свердління переривчастий процес і в проміжках між свердленням окремих отворів інструмент відпочиває, то знаходять можливим іноді стійкість свердла оцінювати кількістю просвердлених їм отворів при певній глибині кожного або загальною сумарною глибиною їх. Практичну швидкість різання під час свердління конструкційних сталей визначають таким періодом стійкості свердла, при якому свердло встигає просвердлити до затуплення число отворів із загальною глибиною $L = 2000$ мм. Цю швидкість позначають $V_{L=2000}$. Природно очікувати, що стійкість свердла, а значить, і швидкість різання повинна збільшувати зі зменшенням довжини просвердлювального отвору l , так як

свердло працює в більш легких умовах і часто відпочиває, хоча при цьому відбуваються і більш часті врізання. Сказане ілюструється графіком (рис. 4.1.1). Особливо різко зменшується стійкість зі збільшенням l для свердел малого діаметра.

З огляду на позитивну роль розміру інструменту в відношенні тепловідведення і жорсткості, рекомендується підвищувати швидкість різання зі зростанням діаметра свердла при $S = \text{const}$. Наприклад, на підставі експериментальних досліджень для розрахунку швидкості різання під час свердління рекомендується формула:

$$V = \frac{C_v \cdot d^{x_v}}{T^m \cdot S^{y_v}}, \quad (4.1.1)$$

Значення $C_v; x_v; y_v$ наведені в табл. 4.1.1 для швидкоріжучих свердел.

Так як великі свердла працюють з більшою подачею, практично швидкість різання не збільшується зі зростанням діаметра свердла, особливо під час свердління важкооброблюваних сталей і сплавів. Для прикладу в табл. 4.1.1 наводяться експериментальні дані по режимам різання під час свердління жароміцних сталей і сплавів різних марок.

Таблиця 4.1.1 - Значення $C_v; x_v; y_v; \frac{1}{m}$ — в формулі (4.1.1)

Обрабатываемый материал	Подача s в мм/об	C_v	x_v	y_v	$\frac{1}{m}$
Сталь $\sigma_B = 75 \text{ кгс/мм}^2$	$\leq 0,2$	5,0	0,4	0,7	0,2
	$> 0,2$	7,0	0,4	0,7	0,125
Чугун серый $HB 190$	$\leq 0,3$	10,5	0,25	0,55	0,125
	$> 0,3$	12,2	0,25	0,40	0,125
» » $HB 190$	$\leq 0,3$	15,6	0,25	0,55	0,125
» » $HB 190$	$> 0,3$	18,1	0,25	0,40	0,125
Чугун ковкий	$> 0,3$	23,4	0,25	0,55	0,125
Бронза $HB 100-140$	$> 0,3$				

Для великих свердел при відповідному збільшенні подачі швидкості різання, як правило, не зростають і навіть зменшуються. Це викликано тим, що під час свердління важкооброблюємих сталей і сплавів має місце значний опір

різанню, особливо при роботі великих свердел. В результаті при недостатній стійкості системи виникають вібрації, які знижують стійкість інструменту або навіть руйнують його. Останнє нерідко спостерігається в момент виходу свердла з отвору, коли в силу пружності системи відбувається удар. Доводиться вдаватися до спеціальних заточування свердел, щоб знизити навантаження інструменту і тим забезпечити його нормальну експлуатацію.

4.2 Вплив матеріала і геометрії свердла на його стійкість

При свердлінні, як і при точінні, геометрія інструменту істотно впливає на його стійкість.

Криві на рис. 4.2.1 наочно показують вплив заднього кута на стійкість інструменту для випадку свердління сталі 1X18H9T і титанового сплаву BT2.

Правильна подточка поперечної кромки помітно підвищує продуктивність свердла (табл. 4.2.1).

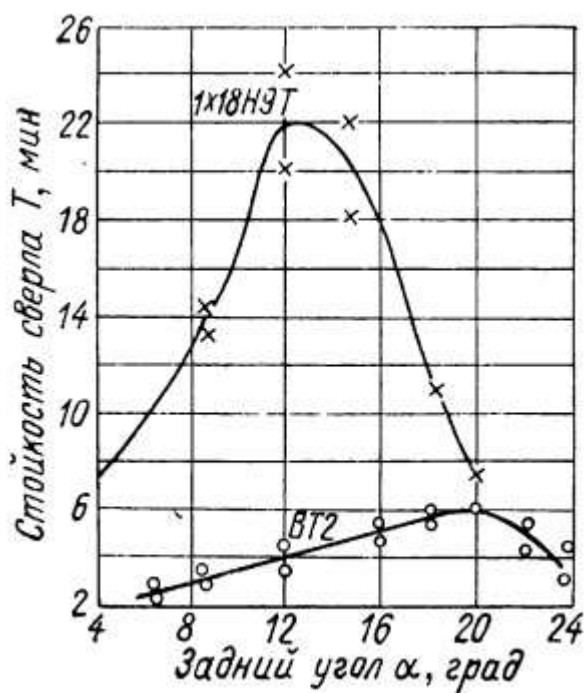


Рисунок 4.2.1 - Вплив заднього угла свердла на його стійкість при свердленні сталі 1X18H9T ($d = 19,4$ мм, $V = 18$ м/хв) і титанового сплаву BT2 ($d = 2$ мм, $S = 0,2$ мм/об, $V = 9$ м/хв)

Для підвищення продуктивності необхідно збільшувати жорсткість свердла, скорочуючи робочу частину або потовщуючи серцевину свердла до d_0 . Такий засіб особливо ефективно при значеннях $d_0 = (0,30-0,40) d$, т. е. при подвоєнні товщини перемички порівняно з нормальним свердлом, що мають $d_0 \approx 0,15d$. Подальше потовщення серцевини не буде корисним, оскільки призведе до зменшення обсягу стружкових канавок, що утрудняє вихід стружки. Щоб уникнути цього рекомендується при потовщеній серцевині $d_0 = (0,3 -0,4) d$ не збільшувати її в напрямку до хвостовика, як це робиться у нормальних свердел.

Досвід показав, що при свердленні важкооброблюваних сталей 45Г17ЮЗ і сплаву EI787 було можливо підвищити в п'ять-шість разів стійкість у свердел, серцевина яких була збільшена до $d_0 = (0,3-0,4) d$ і в три- чотири рази у свердел з укороченою довжиною робочої частини $d = (4-5) d$ в порівнянні з нормальними свердлами.

Необхідно підкреслити, що укорочені свердла дають позитивний результат лише за умови спеціальної підточування, що забезпечує зменшену поперечну ріжучу кромку $b = 0,05-0,1d$ і позитивні передні кути. Інакше може вийти негативний ефект. Це переконливо ілюструється експериментальними графіками (рис. 4.2.2), які показують зниження продуктивності свердла з укороченням його при одночасному збільшенні довжини поперечної кромки видання, так як перемичка свердла потовщується у напрямку до хвостовіку (рис. 4.2.2, а). Зовсім інша картина виходить при подточкой поперечної кромки (рис. 4.2.2, б). Треба додати, що під час свердління важкооброблюваних матеріалів, незалежно від методу виготовлення свердел, стійкість останніх значно коливається внаслідок нестабільності фізико-механічних властивостей заготовок. Це наочно доведено експериментальними графіками зміни стійкості свердел (P18) при обробці сплаву EI787 в залежності від заднього кута (рис. 4.2.3, а), кута при вершині (рис. 4.2.3, б) і відношення довжини робочої частини свердла до його діаметру (рис. 4.2.3, в).

Таблица 4.2.2 - Стійкість свердел з різної заточкою

Обрабатываемый материал	Количество отверстий, просверленных сверлами с заточкой по формам (рис. 161, а)				Примечание
	0	I	II	III	
Сталь	12	25	25	7	$v = 35$ м/мин; $d = 25$ мм; $s = 0,82$ мм/об
»	23	78	64	19	$v = 28$ м/мин; $d = 25$ мм; $s = 0,82$ мм/об

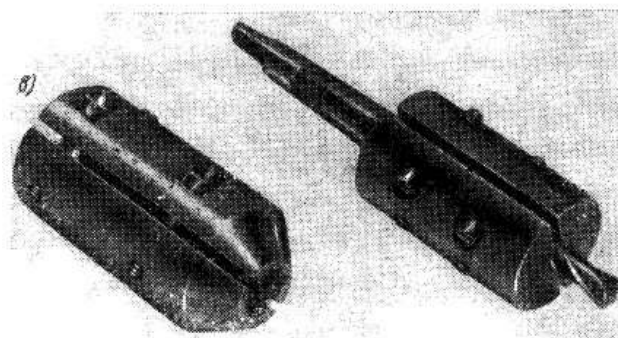
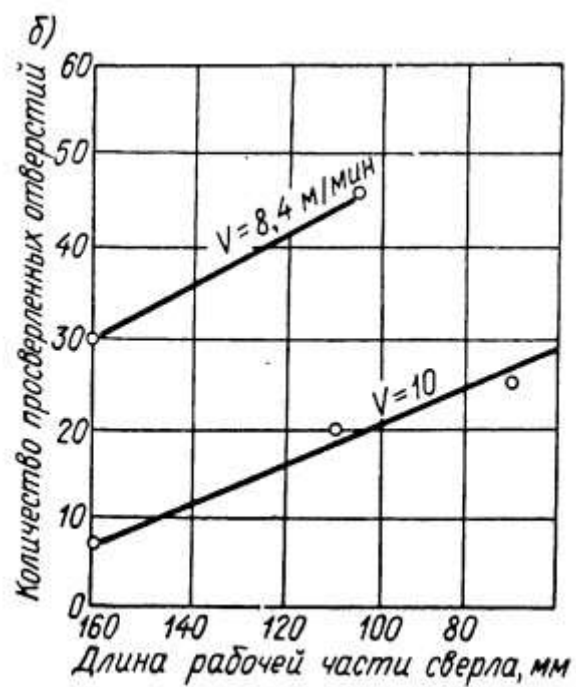
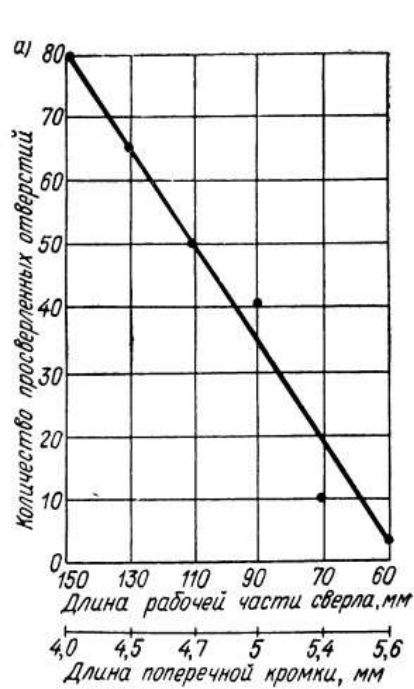


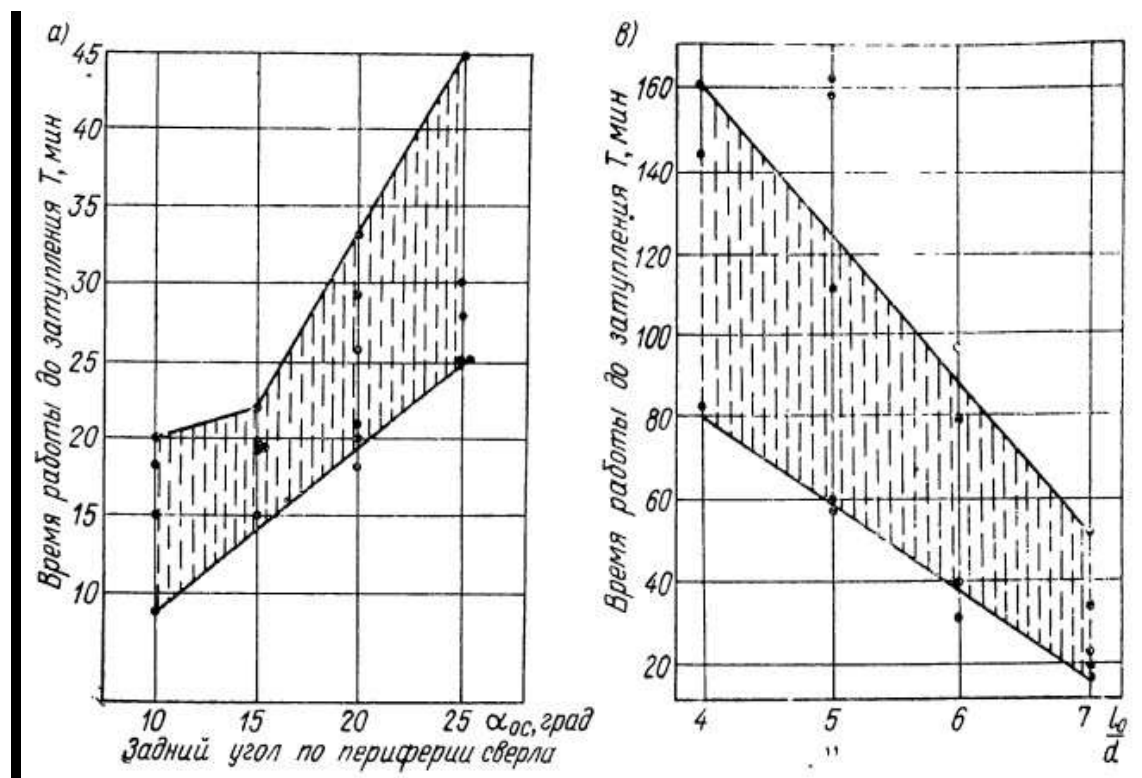
Рисунок 4.2.3 - Вплив довжини сверла на його продуктивність: а - без підточування поперечної кромки (конструкційна сталь $V = 30$ м / хв); б - з

подточкой поперечної кромки (сталь 45Г17ЮЗ, $k = 26$ мм; $S = 0,2$ мм / об);

в - втулки жорсткості

При роботі довгим і тонким свердлом корисно застосовувати втулки жорсткості (рис. 4.2.3, в).

Досвід показав, що подвійна заточка робочого конуса свердла, наприклад з кутами $2\phi = 120^\circ$ і $2\phi_0 = 75^\circ$, підвищує стійкість свердла в шість-вісім разів і, отже, швидкість різання при $T = \text{const}$ може бути збільшена на 25-35%. Причина підвищеної стійкості подібних свердел в подовженні різальних кромки, збільшенні кута між головною і фасочною кромками і внаслідок цього в кращому відведенні тепла.



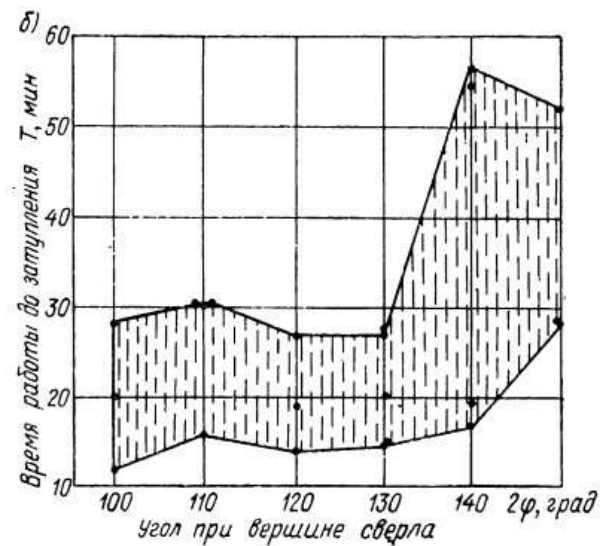


Рисунок 4.2.4 - Вплив на стійкість швидкорізучого свердла в залежності від кутів заднього α (а), в плані 2ϕ (б) і відносини, в) при свердленні важкооброблюємого сплаву ЭИ787 (за даними М. А. Шатеріна).

$a — d = 20$ мм; $l_o = 100$ мм; $2\phi = 140^\circ$; $V = 5,7$ м/хв; $S = 0,1$ мм/об;

$b — V = 3,87$ м/мин; $S = 0,1$ мм/об; $V = 10^\circ$; $a = 20^\circ$; $d = 21$ мм

Зменшення ширини направляючих стрічок, як вказувалося вище, сприяє підвищенню стійкості свердел при обробці сталей і сплавів, схильних до пружної після дії, наприклад титанових сплавів (рис. 4.2.5). Такий же ефект виходить і при невеликому порушенні симетричності заточування свердла. В обох випадках зменшується тертя між стрічками свердла і стінками отвору. Зі зменшенням ширини стрічок свердла послаблюється його спрямовуюча здатність, що може сприяти відведенню інструменту.

Треба думати, що зазначені тут спеціальні прийоми поліпшення роботи свердла не завжди економічно виправдовуються.



Рисунок 4.2.5. Вплив ширини направляючої стрічки на стійкість свердла (сплав ВТ2: $d = 17,4$ мм; $S = 0,25$ мм/об, $V = 3,6$ м/хв, $H = 68$ мм)

До них доцільно вдаватися при значному підвищенні продуктивності, як це буває під час свердління важкооброблюємих сталей і сплавів. В останньому випадку дуже важливо правильно вибрати інструментальний матеріал. Тут найчастіше застосовують леговані сталі Р18 і Р9. Для приклада в табл. 4.2.3 наведені режими різання під час свердління важкооброблюємих сталей і сплавів. Досвід показав доцільність використання високолегованих швидкорізальних сталей, наприклад марки Р9К10, що забезпечують в ряді випадків двох-трикратну стійкість. Правда, внаслідок деякої властивою їм крихкості спостерігалось передчасне викрашування у випадках недостатньої жорсткості системи. У зв'язку з цим треба зауважити, що вальцьовані швидкорізальні свердла (з правильною геометрією) показують більш високу стійкість і міцність в порівнянні з фрезерованими.

При свердлінні дуже твердих матеріалів або матеріалів з сильним абразивним впливом вдаються до твердосплавним інструментам, показують хороші результати під час свердління чавунів, пластмас, ізоляційних матеріалів, кольорових металів і ін. Корисність твердосплавних інструментів при свердленні

матеріалів середньої твердості і тим більше м'яких, а також важкооброблюваних жароміцних сталей і сплавів (аустенітних) сумнівна.

Таблиця 4.2.3 – Режими різання при свердленні жароміцних сталей і сплавів.

Обрабатываемый материал	σ_B в кгс/мм ²	Диаметр сверла d в мм	Подача s в мм/об	Скорость резания v в м/мин
Сталь 1Х19Н9Т	60	3 20	0,03—0,07 0,15—0,20	24—16 14—10
» ЭИ811	80	3 20	0,03—0,07 0,15—0,20	20—12 12—9
» ЭИ395	75	3 15 30	0,03—0,07 0,12—0,15 0,25—0,30	18—7 13—10 9—7
» ЭИ481	80	3 15 30	0,03—0,07 0,12—0,15 0,25—0,30	15—9 17—15 14—10
» ЭИ654	75	3 15 30	0,03—0,07 0,12—0,15 0,25—0,30	13—7 13—11 9—7
» ЭИ437	110	3 15 30	0,03—0,07 0,12—0,15 0,25—0,30	6—3 7—5 6—5
» ЭИ787 и ЭИ812	100—120	3 15 30	0,03—0,07 0,12—0,15 0,25—0,30	3—2 6—5 5—4
Сплав ЭИ827	100—105	15 30	0,12—0,15 0,25—0,30	4—3,5 5—4
» ЭИ867	120—130	15 30	0,12—0,15 0,25—0,30	2,5—2 2,5—2

Примечание. Большие скорости следует применять при меньших подачах. При сверлении рекомендуется применять обильное охлаждение 10-процентной эмульсией.

Успішно застосовуються під час свердління отворів малого діаметра до Ø8 мм цілі свердла з пластифікованих твердих сплавів. При обробці дуже міцних і твердих матеріалів вони показали кращі результати порівняно зі складовими твердосплавними свердлами. Рекомендуються також короткі свердла як більш жорсткі, так як при роботі їх різко знижуються крутільні коливання і тертя об стінки отворів. Наводиться приклад підвищення стійкості в 80 разів при вкороченні свердла з 73 до 20 мм при діаметрі його 6,5 мм.

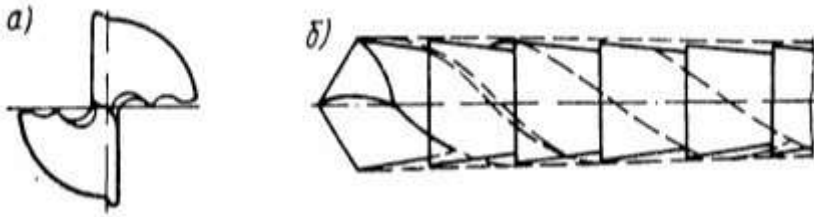


Рисунок 4.2.6 – Сучасні конструкції сверл

На рисунку 4.2.6 наводяться сучасні форми високопродуктивного інструменту для свердління отворів. Щоб уникнути пакетування стружки і для дроблення її при глибокому свердленні застосовують свердла з стружколомним уступом, отриманим додатковим фрезеруванням паза по всій довжині стружкових канавок свердла (рис. 4.2.6, а). Для зменшення тертя напрямних стрічок свердла об стінки отвори збільшується зворотна конусність лише на невеликій ділянці (рис. 4.2.6, б), після чого діаметр свердла збільшується до значення, відповідного діаметру свердла зі звичайною конусністю і в цьому ж перерізі, і т. д.; в результаті виходить ступеневу свердло, яке працює продуктивно при довжині отворів $5d > l > 2d$.

4.3 Вплив ЗОР на стійкість свердел

В результаті сильного тертя і великій деформації стружки в процесі свердління виникає висока температура різання. Вона тим вище, чим більше швидкість V , подача S і глибина свердлення l , але знижується зі збільшенням діаметра свердла d , як це видно з наступної формули для свердління сталі EI69:

$$\theta^{\circ} = \frac{210v^{0,65}S^{0,3}l^{0,3}}{d^{0,45}}.$$

Рівняння показує, що мастило (охолодження) повинна бути тим рясніше, чим більше швидкість, подача, глибина свердління і чим менше діаметр отвору. При цьому велике значення має правильний вибір виду мастила. Наприклад, під час свердління конструкційної сталі різні мастила дали наступні результати:

Таблиця 4.3.1 – Вплив мастила на

Мастильно-охолоджувальна рідина	Кількість просвердлених отворів
Мінеральне масло	15
Мінеральне масло +3% жирної кислоти	22
Мінеральне масло +5% хлоріруємого масла	48
Мінеральне масло +5% сульфідіруємого жиру	92

Особливо ефективно охолодження під час свердління жароміцних і титанових сплавів, що відрізняються низькою теплопровідністю. Застосування 5-відсоткової сверлильної емульсії з 5-відсотковим розчином хлористого барію і антикорозійною добавкою 1% нітриду натрію дозволило майже подвоїти продуктивність порівняно з різанням всуху.

Свердління пластичних металів немислимо без мастильно-охолоджувальної рідини, особливо глибоке свердління. В цьому випадку успішно застосовують охолодження рідиною, розпиленою під великим тиском. Цей метод охолодження має великі переваги щодо продуктивності, економічності, викиду стружки з просвердлюваного отвори (що покращує чистоту поверхні).

4.4 Розрахунок експлуатаційних характеристик спіральних свердел

Обробка деталей свердлінням полягає у видаленні з заготовки певної кількості матеріалу з метою отримання отворів необхідної форми та запропонованими за технічними умовами точністю розмірів і якістю оброблених поверхонь. Отримання геометричної форми деталі є геометрично-кінематичним фактором процесу різання. При обробці геометричні елементи інструменту не залишаються постійними, а безперервно змінюються внаслідок зносу різальних кромки, деформацій під дією силових факторів. [21, с.365]

Розрахунок спірального свердла зводиться до розрахунку окремих конструктивних елементів, що виконують певну функцію в процесі свердління.

Особливістю розрахунку на відміну від попередніх є визначення раціональних режимів обробки при заданих параметрах свердел для обґрунтованого нормування свердлильних робіт. [21, с.365]

Мною була розроблена програма, яка здійснює розрахунок експлуатаційних характеристик спіральних свердел з урахуванням геометричних параметрів від конструктивних особливостей інструменту і конкретних умов обробки, в середовищі Delphi 7.

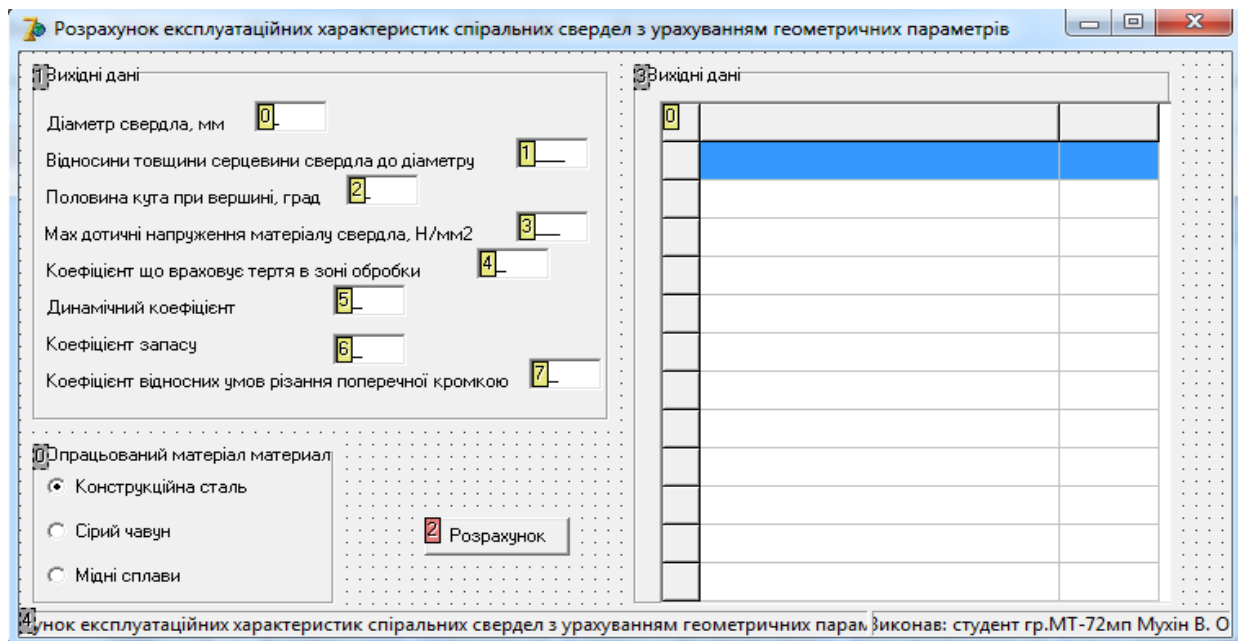


Рисунок 4.4.1 – Інтерфейс програми

Приклади розрахунків:

Розрахунок експлуатаційних характеристик спіральних свердел з урахуванням геометричних параметрів

Вихідні дані

Діаметр свердла, мм

Відносини товщини серцевини свердла до діаметру

Половина кута при вершині, град

Мак дотичні напруження матеріалу свердла, Н/мм²

Коефіцієнт що враховує тертя в зоні обробки

Динамічний коефіцієнт

Коефіцієнт запасу

Коефіцієнт відносних умов різання поперечної кромкою

Опрацьований матеріал матеріал

☒ Конструкційна сталь

☐ Сірий чавун

☐ Мідні сплави

Розрахунок

Вихідні дані

	Найменування величини	Значення
1	Подача, мм/об	0,15
2	Стойкість, хв	40
3	Швидкість різання, м/хв	8,6
4	Частота обертів, 1/хв	6,9E002
5	Стойкість умовно просвердлений отвори, м	4,2E003
6	Умовний шлях ріжучої кромки за стойкістю	3,4E002
7	Кількість просвердлених отворів за період	3,5E002
8	Осьова сила, Н	3E002
9	Обертаючий момент, мм	-5,7E004
10	Потужність різання, Вт	-4,1E003
11	Норма змінного виробітку, шт	3,7E003
12	Кількість зношених свердел за зміну, шт	11
13	Основний час обробки одного отвору глиб	0,12
14	Штучний час обробки одного отвору, хв	0,13
15	Величина допустимого зносу, мм	0,6

Розрахунок експлуатаційних характеристик спіральних свердел з урахуванням геометричних параметрів. Виконав: студент гр.МТ-72мп Мухін В. О

Рисунок 4.4.2 – Інтерфейс та розрахунок обробки конструкційної сталі

Розрахунок експлуатаційних характеристик спіральних свердел з урахуванням геометричних параметрів

Вихідні дані

Діаметр свердла, мм

Відносини товщини серцевини свердла до діаметру

Половина кута при вершині, град

Мак дотичні напруження матеріалу свердла, Н/мм²

Коефіцієнт що враховує тертя в зоні обробки

Динамічний коефіцієнт

Коефіцієнт запасу

Коефіцієнт відносних умов різання поперечної кромкою

Опрацьований матеріал матеріал

☐ Конструкційна сталь

☒ Сірий чавун

☐ Мідні сплави

Розрахунок

Вихідні дані

	Найменування величини	Значення
1	Подача, мм/об	0,31
2	Стойкість, хв	80
3	Швидкість різання, м/хв	6,9
4	Частота обертів, 1/хв	5,5E002
5	Стойкість умовно просвердлений отвори, м	1,4E004
6	Умовний шлях ріжучої кромки за стойкістю	5,5E002
7	Кількість просвердлених отворів за період	1,1E003
8	Осьова сила, Н	3E002
9	Обертаючий момент, мм	-5,7E004
10	Потужність різання, Вт	-3,2E003
11	Норма змінного виробітку, шт	3,8E003
12	Кількість зношених свердел за зміну, шт	3,4
13	Основний час обробки одного отвору глиб	0,071
14	Штучний час обробки одного отвору, хв	0,12
15	Величина допустимого зносу, мм	0,6

Розрахунок експлуатаційних характеристик спіральних свердел з урахуванням геометричних параметрів. Виконав: студент гр.МТ-72мп Мухін В. О

Рисунок 4.4.3 – Інтерфейс та розрахунок обробки сірого чавуну

Розрахунок експлуатаційних характеристик спіральних свердел з урахуванням геометричних параметрів

Вихідні дані

Діаметр свердла, мм

Відносини товщини серцевини свердла до діаметру

Половина кута при вершині, град

Мах дотичні напруження матеріалу свердла, Н/мм2

Коефіцієнт що враховує тертя в зоні обробки

Динамічний коефіцієнт

Коефіцієнт запасу

Коефіцієнт відносних умов різання поперечної кромкою

Оброблюваний матеріал матеріал

☐ Конструкційна сталь

☐ Сірий чавун

☒ Мідні сплави

Розрахунок

Вихідні дані

	Найменування величини	Значення
1	Подача, мм/об	0,23
2	Стійкість, хв	1E002
3	Швидкість різання, м/хв	25
4	Частота обертів, 1/хв	2E003
5	Стійкість умовно просвердлений отвори, м	4,5E004
6	Умовний шлях ріжучої кромки за стійкістю	2,5E003
7	Кількість просвердлених отворів за період	3,8E003
8	Осьова сила, Н	3E002
9	Обертаючий момент, мм	-5,7E004
10	Потужність різання, Вт	-1,2E004
11	Норма змінного виробітку, шт	3,9E003
12	Кількість зношених свердел за зміну, шт	1
13	Основний час обробки одного отвору глиб	0,026
14	Штучний час обробки одного отвору, хв	0,12
15	Величина допустимого зносу, мм	0,6

Розрахунок експлуатаційних характеристик спіральних свердел з урахуванням геометричних параметрів виконав: студент гр.МТ-72мп Мухін В. О

Рисунок 4.4.4 – Інтерфейс та розрахунок обробки мідних сплавів

Алгоритм розрахунку

1. Подача:

$$s = \frac{4\omega_p \cdot \tau_c}{\pi k n k_8 \tau_M d^2 (1 - \Delta^2 + \Delta^2 \delta)};$$

$$\omega_h \cong 0,05 d^2; \tau_M = 0,6 \sigma_b$$

2. Швидкість різання:

$$v = \frac{cd^x}{T^y S^z (HB)^{0,5}}$$

3. Стійкість хвилинна: $T = k_t d$.
4. Частота обертання: $n = (1000V)/\pi d$.
5. Стійкість, виражена в довжині умовно просвердлених отворів:

$$L = SnT.$$

6. Кількість просвердлених отворів глибиною 3 мм за період стійкості: $k_0 = L/3d$.
7. Осьова сила: $P_0 = 0,43\pi S\tau_M d k k_g [\sin(1 - \Delta 2) + \Delta \delta]$.
8. Крутний момент: $M = \frac{\pi}{4} S\tau_M k k_g d^2 (1 - \Delta^2 + \Delta^2 \delta)$.
9. Ефективна потужність різання: $N_e = 6,28 M n / 60000$.
10. Основний час обробки отворів завглибшки 3d: $T_0 = 3d/(nS)$.
11. Штучний час: $T_{шт} = 0,07T_0 + 0,12$.
12. Норма змінного виробітку: $H_0 = 480/T_{шт}$.
13. Кількість зношених свердел в зміну: $H = H_0/k_0$.
14. Умовний шлях, прохідних ріжучих кромek за час стійкості: $L_1 = VT$.
15. Величина допустимого зносу свердла: $h = 0,15d$.

Вихідні данні:

S – подача, мм/об.

T – стійкість, хв.

ϑ - швидкість різання, м/хв.

N - частота обертання, 1/хв.

L - стійкість умовно просвердленого отвору, мм.

L1 - умовний шлях ріжучої кромки за стійкістю, м.

K0 - кількість просвердлених отворів за період стійкості, шт.

D0 - осьова сила, Н.

M - крутний момент, мм.

NE - потужність різання, Вт.

H0 - норма змінного виробітку, шт.

NIZ - кількість зношених свердел у зміну, шт.

T0 - загальний час обробки одного отвору глибиною $3d$, хв.

TI - штучний час обробки одного отвору, хв.

HD - величина допустимого зносу, мм.

d - діаметр свердла, мм.

DEL - відношення товщини серцевини свердла до діаметру.

TAU - максимальні дотичні напруження матеріалу свердла, $\text{H}/\text{мм}^2$

SIGMA - межа міцності оброблюваного матеріалу.

FI - половина кута при вершині, град.

DELTA - коефіцієнт відносних умов різання поперечної кромки.

HB - твердість оброблюваного матеріалу.

K - коефіцієнт, що враховує тертя в зоні обробки.

KD - динамічний коефіцієнт.

KN - коефіцієнт запаса.

Код програми:

```
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  try
    d:=StrToInt(me_D.editText);
    del:=StrToFloat(me_DEL.editText);
    FI:=StrToInt(me_FI.editText);
    TAU:=StrToInt(me_TAU.editText);
    K:=StrToFloat(me_K.editText);
    KN:=StrToFloat(me_KN.editText);
```

```
KD:=StrToFloat(me_KD.editText);  
case rg_Material.itemIndex of  
  0: begin  
    Sigma:=610;  
    HB:=200;  
    KT:=10;  
    c:=11.2;  
    x:=1.3;  
    y:=0.25;  
    z:=0.8;  
  end;  
  1: begin  
    Sigma:=300;  
    HB:=210;  
    KT:=20;  
    c:=18.5;  
    x:=1.4;  
    y:=0.3;  
    z:=0.9;  
  end;  
  2: begin  
    Sigma:=400;  
    HB:=100;  
    KT:=25;  
    c:=35.0;  
    x:=1.6;  
    y:=0.36;  
    z:=0.95;  
  end;  
end;
```



```

t:=kt*d;
S:=abs((4*0.05*power(d,3)*tau)/(Pi*k*kn*kd*0.6*sigma*power(d,2)*(1-
power(del,2)+power(del,2)*delta)));
V:=(c*power(d,x))/(power(t,y)*power(s,z)*power(HB,0.5));
N:=1000*v/(Pi*D);
L:=s*n*t;
k0:=l/(3*d);
p0:=abs(0.43*Pi*s*0.6*sigma*d*k*kd*((1-power(del,2))*sin(fi)+del*delta));
M:=(Pi*8)*s*sigma*k*kd*power(d,2)*(1-power(del,2)+power(del,2)*delta);
Ne:=6.28*m*n/60000;
T0:=3*D/(n*S);
T1:=0.07*T0+0.12;
H0:=480/T1;
hiz:=h0/k0;
L1:=v*t;
hd:=0.15*d;
sg_Out.Cells[2,1]:=FloatToStrF(S,ffGeneral,0,3);
sg_Out.Cells[2,2]:=FloatToStrF(T,ffGeneral,0,3);
sg_Out.Cells[2,3]:=FloatToStrF(V,ffGeneral,0,3);
sg_Out.Cells[2,4]:=FloatToStrF(N,ffGeneral,0,3);
sg_Out.Cells[2,5]:=FloatToStrF(L,ffGeneral,0,3);
sg_Out.Cells[2,6]:=FloatToStrF(L1,ffGeneral,0,3);
sg_Out.Cells[2,7]:=FloatToStrF(K0,ffGeneral,0,3);
sg_Out.Cells[2,8]:=FloatToStrF(p0,ffGeneral,0,3);
sg_Out.Cells[2,9]:=FloatToStrF(M,ffGeneral,0,3);
sg_Out.Cells[2,10]:=FloatToStrF(Ne,ffGeneral,0,3);
sg_Out.Cells[2,11]:=FloatToStrF(h0,ffGeneral,0,3);
sg_Out.Cells[2,12]:=FloatToStrF(hiz,ffGeneral,0,3);
sg_Out.Cells[2,13]:=FloatToStrF(t0,ffGeneral,0,3);
sg_Out.Cells[2,14]:=FloatToStrF(t1,ffGeneral,0,3);

```

```

    sg_Out.Cells[2,15]:=FloatToStrF(hd,ffGeneral,0,3);
except
    on EConvertError do begin
        Beep;
        ShowMessage('Правильно заповніть необхідні поля!');
    end;
end;
end;
end;
procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
var i: byte;
begin
    for i:=1 to 15 do
        sg_out.Cells[0,i]:=intToStr(i);
    sg_out.Cells[1,0]:=Найменування величини';
    sg_out.Cells[2,0]:=Значення';
    sg_Out.Cells[1,1]:='Подача, мм/об;
    sg_Out.Cells[1,2]:='Стійкість, хв';
    sg_Out.Cells[1,3]:='Швидкість різання, м/хв';
    sg_Out.Cells[1,4]:='Частота обертів, 1/хв';
    sg_Out.Cells[1,5]:='Стійкість умовно просвердлених отворів за період
стіякості, шт';
    sg_Out.Cells[1,6]:='Умовний шлях ріжучої кромки за стійкістю, м';
    sg_Out.Cells[1,7]:='Кількість просвердлених отворів за період стійкості,
шт';
    sg_Out.Cells[1,8]:='Осьова сила, Н';
    sg_Out.Cells[1,9]:='Обертаючий момент, мм';
    sg_Out.Cells[1,10]:='Потужність різання, Вт';
    sg_Out.Cells[1,11]:='Норма зманного виробітку, шт';
    sg_Out.Cells[1,12]:='Кількість зношених свердел за зміну, шт';
    sg_Out.Cells[1,13]:='Основний час обробки одного отвору глибиною 3d, хв';

```

```
sg_Out.Cells[1,14]:='Штучний час обробки одного отвору, хв';  
sg_Out.Cells[1,15]:='Величина допустимого зносу, мм';  
end;  
end.
```

Розділ 5

Стартап

5.1. Опис ідеї проекту

Суть ідеї проекту полягає в розробці яка здійснює розрахунок експлуатаційних характеристик спіральних свердел з урахуванням геометричних параметрів від конструктивних особливостей інструменту і конкретних умов обробки, в середовищі Delphi 7. Розглянемо одну з формул по якій можна розрахувати крутний момент. Використовуючи алгоритм наведений в даній роботі можна спростити процес розрахунку знову свердла та завдяки цьому внести в технологічний процес необхідну кількість інструментів для обробки деталі. Основний напрямок використання продукції це авіа моделювання та промислове авіабудування. Використана методологія розробки стартап-проекту викладена в ресурсі [20].

В таблицях 5.1 та 5.2 наведений більш детальний опис ідеї та проведено визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту.

Таблиця 5.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Програма для розрахунку кількості свердл	Авіамоделювання та промислова авіація	Точний розрахунок затрат на інструмент

Таблиця 5.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Потенційні товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Проект	Конкурент:	Конкурент:			
1	Ціна	+	-	+			+
2	Довговічність	+	+	+			+

3	Наявність товару-замінника	+	+	+		+	
4	Швидкість виготовлення	+	+	-	+		
5	Дороге обладнання	-	+	+			+

5.2. Технологічний аудит ідеї проекту

В межах цього розділу необхідно провести аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару). Для проведення аудиту рішаємо наступні питання: (табл. 5.3):

- За якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту?
- Чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/додати?
- Чи доступні такі технології авторам проекту

Таблиця 6.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технологія реалізації	Наявність технології	Доступність технології
1.	Розробка програмного забезпечення	Надання програмного забезпечення	Наявні	доступні
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: розробка програмного забезпечення та надання послуг.				

Враховуючи проведений аналіз, приходимо до висновку що за всіма показниками проект можливо запустити.

5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проводиться аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (див. табл. 6.4).

Таблиця 5.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	10-15
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	300000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Набула свого піку
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Необхідність невеликих інвестицій
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	90%

Далі визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (див. табл. 5.5.).

Таблиця 5.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Надійність, економічність	Виробники у авіапромисловості та авіа моделюванні	Відмінностей немає	Продукція повинна мати стабільну роботу

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. № 5.6 - 5.7). Фактори в таблиці подавати в порядку зменшення значущості.

Таблиця 5.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Недовіра вітчизняному виробнику	Недовіра в плані якості товару, відповідності документації.	Прозорість при виготовленні, відповідний підбір кадрів по кваліфікації
2	Недосконалість	Недосконалість продукту на відміну від іноземного виробника	Проведення рекламної кампанії щодо можливостей вітчизняного виробника

Таблиця 5.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Закріплення на ринку	Закріплення позицій на вітчизняному ринку	Зменшення ціни виробу, збільшення якості
2	Додаткові послуги	Збільшення вибору для покупця	Додання додаткових модифікацій для вже існуючого товару

Далі було проведено аналіз пропозиції з визначенням загальних рис конкуренції на ринку (див. табл. 5.8.).

Таблиця 5.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Тип конкуренції	Олігополія	Зменшення ціни на продукт
За рівнем конкурентної боротьби	Регіональна	Можливе здійснення переходу на міжнародний ринок
За галузевою ознакою	Внутрішньогалузева	Підвищення якості продукції,
Конкуренція за видами товарів	Програмно-родова	Проведення конференцій для підтвердження якості продукції
За характером конкурентних переваг	Економічна точність	Зменшення ціни на продукт
За інтенсивністю	Марочна	Закріплення свого бренду на ринку

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 5.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	SecoTools Mitsubishi	Складність налагодження в вітчизняних реаліях	Можливість закупівлі оновленого програмного забезпечення	Велика кількість мало та середньосерійних підприємств	Мала кількість
Висновки	Інтенсивність конкурентної на міжнародному рівні боротьби підвищена	Можливість входу на ринок існує, але зі складнощами, що збільшує строки входу в нього	Більшість станків використовують ЧПК	Клієнти обирають з ряду виробників за умовою найбільшої якості	Обмеження у вигляді інших типів програмного забезпечення

З огляду на конкурентну ситуацію існує багато проблем, але завдяки розробленому програмному забезпеченні можливість виходу продукту на ринок існує.

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності наведені в табл. 5.10.

Таблиця 5.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п/	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Зменшення ціни на товар	При зменшенні ціни підвищується конкурентоспроможність товару
2	Впровадження додаткових модифікацій до товару	Додаткові послуги мають залучити більшу кількість клієнтів за рахунок створення більшої можливості для вибору
3	Прозорість по закупівлям вхідних матеріалів	Впровадження прозорої системи закупівель для того, щоб клієнтам була зрозуміла вся суть закуплених матеріалів та можливостей підприємства

За визначеними факторами конкурентоспроможності проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 5.11).

Таблиця 5.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п/	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Зменшення ціни на товар								+
2	Впровадження додаткових модифікацій до товару						+		
3	Прозорість по закупівлям вхідних матеріалів							+	

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weaknesses) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (див. табл. 6.12).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища.

Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 5.12. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Економічна вихідність	Слабкості: Додаткові витрати на програмне забезпечення
Можливості: Заробити певний капітал	Загрози: Не актуальність на вітчизняному ринку

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів,

що можуть бути виведені на ринок. Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 5.13).

Таблиця 5.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Закупівля сучасного обладнання з ЧПК	Дуже ймовірна	7-11 місяців
2	Боротьба з недоліками	Ймовірна	до 1 місяця

Як найімовірнішу альтернативу ринкового впровадження стартап-проекту вибрано боротьбу з недоліками, оскільки вона має найбільш стислі строки реалізації.

5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (див. табл. 5.14).

Таблиця 5.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Авіапромисловість	Повна	Високий	Середня	Низька
2	Авіамоделювання	повна	Середній	Висока	Висока
Які цільові групи обрано: Авіапромисловість					

Обрана стратегія охоплення ринку: стратегія диференційованого маркетингу - робота із кількома сегментами, розробляючи для них окремо програми ринкового впливу.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку (див. табл. 5.15).

Таблиця 5.15. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Боротьба з недоліками	Стратегія диференційованого маркетингу	Моніторинг програмного забезпечення конкурентів	Стратегія заняття конкурентної ніші

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (див. табл. 5.16).

Таблиця 5.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні	Шукати нових споживачів, та забирати існуючих	Ні.	Стратегія виклику лідеру

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляється стратегія позиціонування що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект (див. табл. 5.17).

Таблиця 5.17. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1	Продукція повинна виконувати бажані функції, мати відповідну документацію. Компанія повинна обов'язково давати підтримку програмного забезпечення	Стратегія заняття конкурентної ніші	Моніторинг програмного забезпечення конкурентів	Якість, Надійність, Економічність

5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару (див. табл. 5.18).

Таблиця 5.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Виконання бажаних функцій	Економічність ресурсів	Вища економічність за рахунок точних розрахунків
2	Прозорий документообіг	Висвітлення всіх можливих характеристик товару, матеріалів з яких він виготовлений	Оскільки прозора система є нововведенням в українських реаліях, то застосування останньої є дуже перспективним

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточняється ідея продукту, його фізичні складові, особливості процесу його надання (див. табл. 5.19).

Таблиця 5.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару		Сутність та складові		
Товар за задумом	за	Програмне забезпечення розрахунку характеристик сверлд		
Товар реальному виконанні	у	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
		1. Економічна точність	+	+
		2. Якість оброблення		
		Якість: використання міжнародних стандартів якості		
		Пакування: -		
		Марка: MukhinCorp		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: реєстрація торгової марки, промислового зразка, корисної моделі, винаходу.				

Після формування маркетингової моделі товару слід особливо відмітити – чим саме проект буде захищено від копіювання. Захист може бути організовано за рахунок захисту ідеї товару (захист інтелектуальної власності), або ноу-хау, чи комплексне поєднання властивостей і характеристик, закладене на другому та третьому рівнях товару.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 5.20). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 5.20. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	15000-20000\$	35000 \$ / місяць	7000 – 10000 \$

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 5.21):

- Проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- Вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- Вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 5.21. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Збут власними силами		міжнародний	структурована
2	Збут через посередників	Встановлення та підтримка програмного забезпечення	міжнародний	структурована

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 4.22).

Таблиця 5.22 - Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Пошук аналогів	Інтернет	Програмне забезпечення	Якість	Якість та економічність

5.6. Висновки по розділу

Проаналізувавши ринкові потреби, можна з упевненістю зазначити що точний розрахунок кількості свердел при обробці, буде мати високу популярність серед підприємств, що виробляють моделі літаків та гвинтокрилів, займаються виробництвом літальних апаратів.. Для ринкової реалізації проекту доцільно вибрати метод постійного моніторингу недоліків проекту та їх усунення в

найближчі строки. Подальший розвиток проекту є доцільним, тому що на даний момент на українському ринку не існує подібної програми, яка б враховувала розрахунок режимів обробки, силових параметрів, допустимого зносу свердла в залежності від конструктивних особливостей інструменту і конкретних умов обробки.

Висновки

В процесі виконання дипломної роботи було зроблено наступне:

- Розглянути умови збільшення продуктивності і визначені ефективні умови реалізації процесу свердління,
- Наведені сучасні конструкції ріжучого інструменту для обробки отворів,
- Розглянути різні методики завдання режимів різання і розрахунку сил різання під час свердління,
- Приділено увагу аналізу факторів, що впливають на знос свердел.
- Наведено діаграми залежності стійкості свердла від умов різання.

Список публікацій

1. Мухін В. О. Розрахунок експлуатаційних характеристик спіральних свердел з урахуванням геометричних параметрів. «ВІТЧИЗНЯНА НАУКА НА ЗЛАМІ ЕПОХ: ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ», 17 листопада 2018 р., (Вип. 46) ст. 479 – 482, 519. Конференція передбачає публікацію статті в електронному збірнику матеріалів, що буде розміщений на web-сторінці за адресою:
<http://confscience.webnode.com.ua>
2. Мухін В. О., Дмитренко Р. С. Аналіз режимів різання свердлами малих діаметрів. Матеріали XIV Міжнародний науково-практичній конференції, «Освіта і наука без кордонів - 2018», 07 -15 грудня 2018 рік після розділів: Технічні науки. Випуск 19 Адреса видавця та редагування: 37-700 Пшемисль, вул. Łukasińskiego 7. Ст. 64 – 70, 72.

Література

1. М.М.Постников. Аналитическая геометрия. Москва."НАУКА".1973. - 740 с.
2. П.Р.Родин. Основы формообразования поверхностей резанием. Киев. "Вища школа".1977.-192 с.
3. Руководство по металлообработке. Технический справочник от фирмы Sandvik Coromant. Москва."САНДВИК-МКТС".2005.-602 с.
4. А.Д.Макаров. Оптимизация процессов резания. Москва. "Машиностроение".1976. - 278 с.
5. Авторы: В.С.Самойлов, Э.Ф.Эйхманс, В.А.Фальковский, А.Д.Локтев, Ю.П.Шкурки. Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент: Справочник / В.С.Самойлов, Э.Ф.Эйхманс, В.А.Фальковский и др.; Редкол.: И.А.Ординарцев (пред.) и др. - М.: Машиностроение, 1988. - 368 с.
6. Рубинштейн С.А.Основы учения о резании металлов и режущий инструмент.Москва."Машиностроение".1968.- 392 с.
7. Н.И.Жигалко.,В.В.Киселев. Проектирование и производство режущих инструментов.Минск."Вышэйшая школа".1975.- 400 с.
8. Я.Л.Гуревич,М.В.Горохов,В.И.Захаров.Режимы резания труднообрабатываемых материалов. Справочник. Издание второе. Москва. "Машиностроение".1986.- 240 с.
9. А.М.Розенберг. Теория работы цилиндрической фрезы со спиральным зубом. Вестник металлопромышленности. Москва.1933.-№4.-С. 36-47.
10. А.Г.Косилова, Р.П.Мещеряков. Справочник технолога-машиностроителя. Том 2, 4-е, перераб. и доп. Москва, "Машиностроение", 1986. – 655 с.
11. Справочник технолога - машиностроителя. В двух томах. Том 1. Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. – М.: «Издательство машиностроение-1», 2001. – 910с.
12. Справочник технолога - машиностроителя. В двух томах. Том 2. Под ред.А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. – М.: «Издательство машиностроение-1», 2003. – 929с.

13. Обработка металлов резанием. Справочник технолога. А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм и др. Под общ. ред. А.А. Панова - М.: «Машиностроение», 2004. – 782с.
14. Методы обработки резанием круглых отверстий: Справочник / Б.Н.Бирюков, В.М.Болдин, В.Е.Трейгер, С.Г.Фексон; Под общ. ред. Б.Н.Бирюкова. - М.: Машиностроение, 1989. - 200с.
15. Расчет припусков и межпереходных размеров в машиностроении: учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по направлению подгот. бакалавров и магистров "Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств" / Я. М. Радкевич [и др.] ; Под ред. В. А. Тимирязев. - Изд. 2-е, стер. - М. : Высшая школа, 2007. – 272с.
16. Залога В. О. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні: навчальний посібник / В. О. Залога, В. Д. Гончаров, О. О. Залога; за заг. ред. В. О. Залоги. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 371с.
17. Основы теории резания материалов: учебник [для высш. учебн. заведений] / Мазур Н.П., Внуков Ю.Н., Грабченко А.И. и др.; под общ. ред. Н.П. Мазура и А.И. Грабченко. – 2-е изд., перераб. и дополн. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. – 534с.
18. Зубков Н.Н. (2013) Инструментальные материалы для изготовления лезвийных инструментов / Электронный ресурс: <http://technomag.bmstu.ru/doc/569432.html>
19. К.т.н. Біланенко В.Г. , пров. інженер Цимбал А.Ю, НТУУ «Київський політехнічний інститут», ММІ. Проектування технологічних операцій оброблення свердленням.
20. Магістерська дисертація організаційні питання, спеціальність: 133-галузеve машинобудування, Київський політехнічний інститут ім І.Сікорського, Київ-2017р, 67 с.
21. Проектирование и расчет металлорежущего инструмента на ЭМВ, учебное пособие, ред. Таратынов О. В. 2-е издание, г. Ульяновск, 378 с.